

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

## **Modernizace a automatizace polohování dopravníku**

Modernization and Automation of Conveyor  
Positioning

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Diplomant:

Bc. Martin Scheier

Ostrava 2017

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Scheier**  
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **2302T043 Hydraulika a pneumatika**  
Téma: **Modernizace a automatizace polohování dopravníku**  
**Modernization and Automation of Conveyor Positioning**  
Jazyk vypracování: **čeština**

### Zásady pro vypracování:

Navrhnete automatizaci polohování dopravníku a jeho modernizaci s ohledem na současné bezpečnostní předpisy dle normy ISO 13849-1. Vypracujte následující body:

1. Popis a analýza současného stavu zařízení.
2. Posouzení parametrů rizik: výpočet střední doby do poruchy, stanovení Performance level (závažnost zranění, frekvence, možnosti snížení rizika) dle normy ISO 13849.
3. Návrh automatizovaného pracoviště - specifikace senzorů, PLC.
4. Specifikace bezpečnostních prvků.
5. Vypracování bezpečnostních provozních podmínek a opatření pro bezpečný provoz zařízení.
6. Ekonomický model na modernizaci zařízení: a) stávající řešení, b) automatizované řešení, c) automatizované bezpečné řešení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.
- BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.
- KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.
- MURRENHOFF, H. REINERTZ, O. *Fundamentals of fluid power: Part 2, Pneumatics*. Aachen: Shaker Verlag, 2014. 333 p. ISBN 978-3-8440-3213-0.
- SMC. *Zamerané na bezpečnosť - Smernica o strojových zariadeniach a ISO 13849 v praxi*. Dostupné z: [https://www.smc.eu/portal\\_ssl/webpages/00\\_local/cee/services/safety\\_folder/pdf\\_securitybrochure\\_sk.pdf](https://www.smc.eu/portal_ssl/webpages/00_local/cee/services/safety_folder/pdf_securitybrochure_sk.pdf)
- Katalogy a firemní podklady SMC.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016

Datum odevzdání: 15.05.2017



---

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry



---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....  
11/5/2017

.....  
podpis studenta

### Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- беру на вѣдомі, же Высoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, же оdevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o veřejných školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě ..... 11/5/2017

.....  
podpis studenta

Martin Scheier

Kosmonautů 43/1233, 736 01, Havířov - Podlesí, Česká republika

## **Poděkování**

Považuji za svou povinnost poděkovat panu Ing. Lukášovi Dvořákovi Ph.D. a panu Ing. Ondřeji Janíkovvi za odborné a cenné rady při zpracování této diplomové práce.

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

SCHEIER, M. *Modernizace a automatizace polohování dopravníku: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2017, 65s. Vedoucí práce: Dvořák, L.

Cílem mé diplomové práce je navrhnout modernizaci a automatizaci stávajícího řešení dopravníku ovládaného pomocí pneumatických prvků a poukázat na praktické řešení bezpečnosti strojních zařízení z hlediska platné evropské legislativy.

V úvodu práce je popis současného konstrukčního řešení a ovládaní. Následně jsou posouzeny parametry rizik a navrženy protiopatření vedoucí ke snížení rizika. Další část tvoří specifikace bezpečného pneumatického obvodu, pneumatických prvků a jejich kontrola. V poslední části je ověření bezpečnostních parametrů a ekonomický dopad. Součástí příloh je dispoziční výkres původního řešení, analýza rizik FMEA a shrnutí výsledků z ověření bezpečnosti pomocí softwaru SISTEMA.

## ANNOTATION OF THESIS

SCHEIER, M. *Modernization and Automation of Conveyor Positioning: Master Thesis.* Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromechanics and Hydraulic Equipment, 2017, 65p. Thesis head: Dvořák, L.

This thesis is focusing on the modernization and automatization of the Multipositional Lifting Positioning Conveyor by means of Pneumatic Elements, contain practical way to achieve safety according EU laws. At the beginning is described current design and control of conveyor. Next are described and specified risks and safety countermeasures. Next part contain concept of safety pneumatic scheme, pneumatic components a flow check. At the end is check with regard to safety and economic impact. In attachment are dispositional design of the current conveyor, FMEA risk analysis and safety result from SISTEMA software.



**OBSAH DIPLOMOVÉ PRÁCE**

1	Úvod.....	13
2	Popis současného stavu zařízení .....	13
2.1	Popis mechanické konstrukce .....	14
2.2	Schéma pneumatického obvodu s použitými prvky.....	15
2.3	Popis řízení polohování dopravníku.....	16
2.4	Analýza současného stavu konstrukce, obvodu a řízení .....	16
3	Zadání pro implementaci dopravníku do balicí linky .....	17
3.1	Popis funkce balicí linky .....	17
3.2	Vstupní parametry .....	18
3.3	Směrnice pro strojní zařízení .....	18
4	Strategie návrhu bezpečného strojního zařízení .....	19
4.1	Posouzení rizika .....	22
4.1.1	Analýza rizika .....	23
4.2	Ochranná opatření plynoucí z posouzení významného rizika.....	27
4.2.1	Krok 1: Opatření zabudovaná v konstrukci .....	27
4.2.2	Krok 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření.....	28
4.2.3	Krok 3: Informace pro používání.....	31
5	Modernizace a automatizace kyvného dopravníku.....	31
5.1	Mechanické úpravy konstrukce.....	32
5.2	Kontrola dimenze pneumomotorů.....	32
5.2.1	Síly působící na pístnici pneumomotoru .....	32
5.2.2	Kontrola návrhu pneumomotoru.....	34
5.2.3	Volba nového typu pneumomotoru .....	35
5.3	Návrh bezpečného pneumatického obvodu .....	35
5.3.1	Koncepční návrh dvoukanálového pneumatického obvodu .....	37
5.3.2	Úprava koncepčního návrhu pneumatického obvodu.....	40
5.3.3	Finální úprava pneumatického obvodu .....	42
5.3.4	Popis funkce vybraného pneumatického obvodu č. 3.....	43
5.4	Specifikace pneumatických prvků .....	44
5.5	Výpočet a kontrola propustnosti systému .....	46
5.5.1	Výpočet a kontrola rychlosti pro vykonání zdvihu.....	46
5.5.2	Výpočet spotřeby vzduchu.....	51



## *DIPLOMOVÁ PRÁCE*

5.5.3	Kontrola propustnosti systému .....	52
5.6	Ověření bezpečnostních parametrů zvolených pneumatických prvků.....	57
5.6.1	Postup při zadávání informací do softwaru SISTEMA .....	57
6	Bezpečnostní provozní podmínky .....	62
6.1	Montáž pneumatického obvodu .....	62
6.2	Uvedení pneumatického systému do chodu .....	63
6.3	Provoz a údržba pneumatického obvodu .....	63
7	Ekonomický model modernizace.....	64
7.1	Původní řešení dopravníku před modernizací.....	65
7.2	Automatizované řešení dopravníku.....	65
7.3	Automatizované a bezpečné řešení dopravníku .....	66
8	Závěr .....	67
9	Použitá literatura .....	68
10	Seznam příloh .....	69

## SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

<b>Značka</b>	<b>Název</b>	<b>Jednotka</b>
<i>A</i>	zdvih pneumatického válce 1.0	[ <i>mm</i> ]
<i>B</i>	zdvih pneumatického válce 2.0	[ <i>mm</i> ]
<i>B10d</i>	počet cyklů do nebezpečného selhání 10% prvků	[1]
<i>Cat.</i>	zvolená kategorie 3	[1]
<i>CCF</i>	opatření proti poruchám se společnou příčinou	[1]
<i>C<sub>v</sub></i>	průtokový součinitel	[ <i>gal · min<sup>-1</sup></i> ]
<i>D</i>	zvolený průměr pneumatického válce	[ <i>m</i> ]
<i>DCavg</i>	diagnostické krytí	[%]
<i>D<sub>v</sub></i>	průměr válečku	[ <i>m</i> ]
<i>D<sub>p</sub></i>	teoretický průměr pístu	[ <i>m</i> ]
<i>F</i>	celková síla na překonání odporu proti pohybu	[ <i>N</i> ]
<i>F1</i>	frekvence výskytu osoby u zařízení - občas	[1]
<i>F2</i>	frekvence výskytu osoby u zařízení - často	[1]
<i>F<sub>1</sub></i>	odpor valivého a čepového tření válečku	[ <i>N</i> ]
<i>F<sub>2</sub></i>	odpor způsobený ztrátou energie po najetí na váleček	[ <i>N</i> ]
<i>F<sub>p</sub></i>	síla potřebná pro zdvih	[ <i>N</i> ]
<i>F<sub>r</sub></i>	frekvence výskytu provádění určité činnosti	[1]
<i>F<sub>x</sub></i>	síla rozložená do osy x	[ <i>N</i> ]
<i>F<sub>y</sub></i>	síla rozložená do osy y	[ <i>N</i> ]
<i>H</i>	zdvih pístu	[ <i>mm</i> ]
<i>J</i>	hmotný moment setrvačnosti rotujících částí válečku	[ <i>kg · m<sup>2</sup></i> ]
<i>L</i>	délka výkyvné části tratě	[ <i>m</i> ]
<i>L<sub>1</sub></i>	délka hadice průměru 8mm	[ <i>m</i> ]
<i>L<sub>2</sub></i>	délka hadice průměru 6mm	[ <i>m</i> ]
<i>L<sub>3</sub></i>	délka hadice pro řízení průměru 6mm	[ <i>m</i> ]
<i>L<sub>p</sub></i>	délka tratě před výkyvnou částí	[ <i>m</i> ]
<i>M<sub>A</sub></i>	momentová rovnice rovnováhy sil	[ <i>N · m</i> ]
<i>MTTFd</i>	střední doba do nebezpečného selhání	[1]

<b>Značka</b>	<b>Název</b>	<b>Jednotka</b>
$P$	pravděpodobnost, že se stane nějaký úraz	[1]
$P1$	možnost snížení rizika – možné	[1]
$P2$	možnost snížení rizika – nemožné	[1]
$PFH$	hodinová pravděpodobnost, že dojde k selhání systému	[1]
$PL$	úroveň vlastností ( <i>Performance level</i> )	[1]
$PL\ d$	úroveň vlastností ( <i>Performance level - d</i> )	[1]
$PLr$	zvolená úroveň vlastností v softwaru SISTEMA	[1]
$Q_{Nekv}$	ekvivalentní průtok	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$
$Q_{Nekv1}$	ekvivalentní průtok pro větev 1	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$
$Q_{Nekv2}$	ekvivalentní průtok pro větev 2	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$
$Q_{Nekv3}$	celkový ekvivalentní průtok	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$
$Q_{N\ max}$	maximální spotřeba vzduchu	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$
$Q_{NP}$	průměrná spotřeba vzduchu	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$
$Q_n$	normální průtok podle normy ISO 6358	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$
$Q_{ni}$	normální průtok prvku	$[dm^3 \cdot min^{-1}]$
$R$	maximální síla na pístnici	[N]
$R_x$	reakční síla osy x	[N]
$R_y$	reakční síla osy y	[N]
$RPN$	hodnocení rizika	[1]
$S$	ekvivalentní průřez	$[mm^2]$
$S1$	závažnost zranění - lehké	[1]
$S2$	závažnost zranění - těžké	[1]
$T10d$	počet let, za které je nutno prvek vyměnit	[1]
$Z$	závažnost, zdravotní následek úrazu	[1]
$a$	zrychlení předmětu na dopravníku	$[m \cdot s^{-2}]$
$d_{\epsilon}$	průměr osy válečku	[m]
$e$	rameno valivého odporu pro plast a ocel	[m]
$f_p$	třecí síla pístu a pístnice, koeficient zátěže	[1]
$g$	gravitační zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$

<b>Značka</b>	<b>Název</b>	<b>Jednotka</b>
$l$	délka dopravovaného předmětu	$[m]$
$m$	hmotnost dopravovaného předmětu	$[kg]$
$m_{celk}$	celková hmotnost kyvného rámu	$[kg]$
$m_v$	hmotnost válečku	$[kg]$
$ni$	číslo prvku v Tab. 5.1, 5.2 a 5.3	$[1]$
$n_v$	počet válců	$[1]$
$n_{zd}$	počet jednotlivých zdvihů za minutu	$[min^{-1}]$
$p_0$	atmosférický tlak	$[MPa]$
$p_1$	pracovní tlak, tlak vzduchu ve válci	$[MPa]$
$s$	dráha zdvihu pneumomotoru	$[m]$
$t$	čas potřebný k přesunu předmětu od čtečky ke kyvné části	$[s]$
$t_p$	čas pro přesun pneumomotorů	$[s]$
$t_v$	rozteč válečků	$[m]$
$v$	rychlost vysouvání pístnice	$[mm \cdot s^{-1}]$
$v_0$	počáteční rychlost	$[m \cdot s^{-1}]$
$v_p$	konečná rychlost před kyvnou částí	$[m \cdot s^{-1}]$
$v_{pa}$	konečná rychlost na kyvné části	$[m \cdot s^{-1}]$
$v_{pb}$	konečná rychlost na konci dopravníku	$[m \cdot s^{-1}]$
$w$	součinitel odporu proti pohybu	$[1]$
$z$	počet válečků pod předmětem	$[1]$
$\alpha$	úhel sklonu výkyvné části	$[deg]$
$\beta$	úhel sklonu pneumomotoru	$[deg]$
$\varepsilon$	úhel sklonu tratě	$[deg]$
$\varepsilon_{mez}$	mezní úhel sklonu trati	$[deg]$
$\pi$	Ludolfovo číslo	$[1]$
$\mu_{\tilde{c}}$	součinitel čepového tření	$[1]$
$\omega$	úhlová rychlost válečku	$[rad \cdot s^{-1}]$

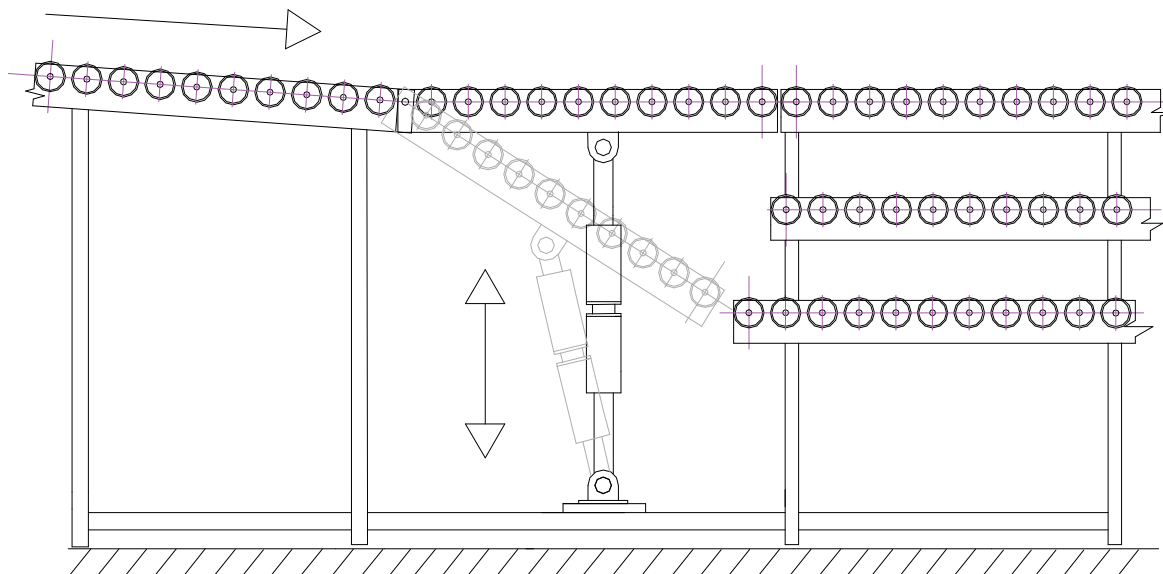
## **1 Úvod**

V rámci své bakalářské práce z roku 2008 jsem řešil vícepolohové nastavení zdvihu dopravníku pomocí pneumatických prvků. Toto zařízení je ovládané manuálně obsluhou a jeho detailní popis je uvedený v druhé kapitole. Vícepolohový dopravník má být s ohledem na zvýšení produktivity automatizovaný a bude součástí moderní balicí linky. S ohledem na bezpečnostní normu ČSN EN ISO 12100: Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika s platností od 07/2011, je nutné provést úpravu a modernizaci tohoto zařízení. V diplomové práci se budu zabývat jak aplikací normy ČSN EN ISO 12100 tak i normy ČSN EN ISO 13849-1: Norma bezpečnosti strojních zařízení, která je platná od 12/2009 a je zaměřena na bezpečnost řídicích systémů.

Cílem diplomové práce je poukázat na praktické řešení bezpečnosti strojních zařízení z hlediska platné evropské legislativy. Legislativa je z pohledu konstruktérů poměrně nejasná, pojmy se často pletou a to má za následek časté obcházení a zjednodušování v oblasti bezpečnosti. Tato oblast je v praxi dlouhodobě zanedbávána i z ekonomických a časových důvodů, které je nutné věnovat již v raném stádiu vývoje nebo úpravy zařízení. Tato skutečnost má za následky spoustu zbytečných zranění, kterým by se dalo předejít.

## **2 Popis současného stavu zařízení**

Jak bylo v bakalářské práci uvedeno, základem celého zařízení jsou jednotlivé válečkové gravitační tratě, kyvná část tratě o délce 1,5m a dva přímočaré pneumomotory, ovládané dalšími pneumatickými prvky. Ovládací prvky a rozvod stlačeného vzduchu jsou připevněny na ovládacím panelu, který je přišroubovaný k zemi vedle kyvné části dopravníku. Dispoziční výkres původního zařízení je přílohou: A. Dispoziční výkres původního zařízení.dwg. Nákres původního stavu zařízení je na obr. 2.1



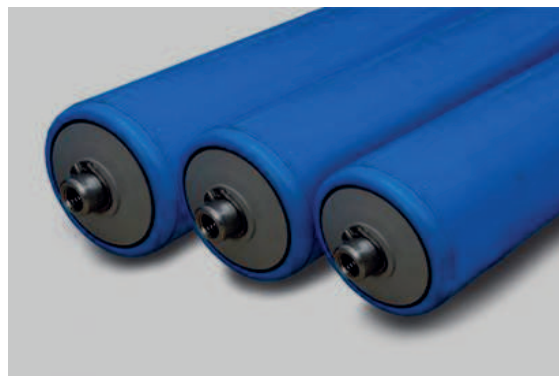
Obr. 2.1 Náskres původního stavu zařízení

## 2.1 Popis mechanické konstrukce

Lehká válečková gravitační trať typu AA 132 je tvořena rámem pro uchycení válečků a je připevněná na dvojnohé podpěry. Rám tvoří U - profil 20 / 70 / 20, pozinkovaný, sešroubovaný příčnými nosníky, obr. 2.2. Válečky jsou z plastu a otáčejí se na osách, které jsou pevně přišroubované do rámu. Váleček tvoří vložka ložiska z umělé hmoty s jednořadými kuličkovými ložisky, obr. 2.3



Obr. 2.2 Lehká válečková trať



Obr. 2.3 Plastové válečky

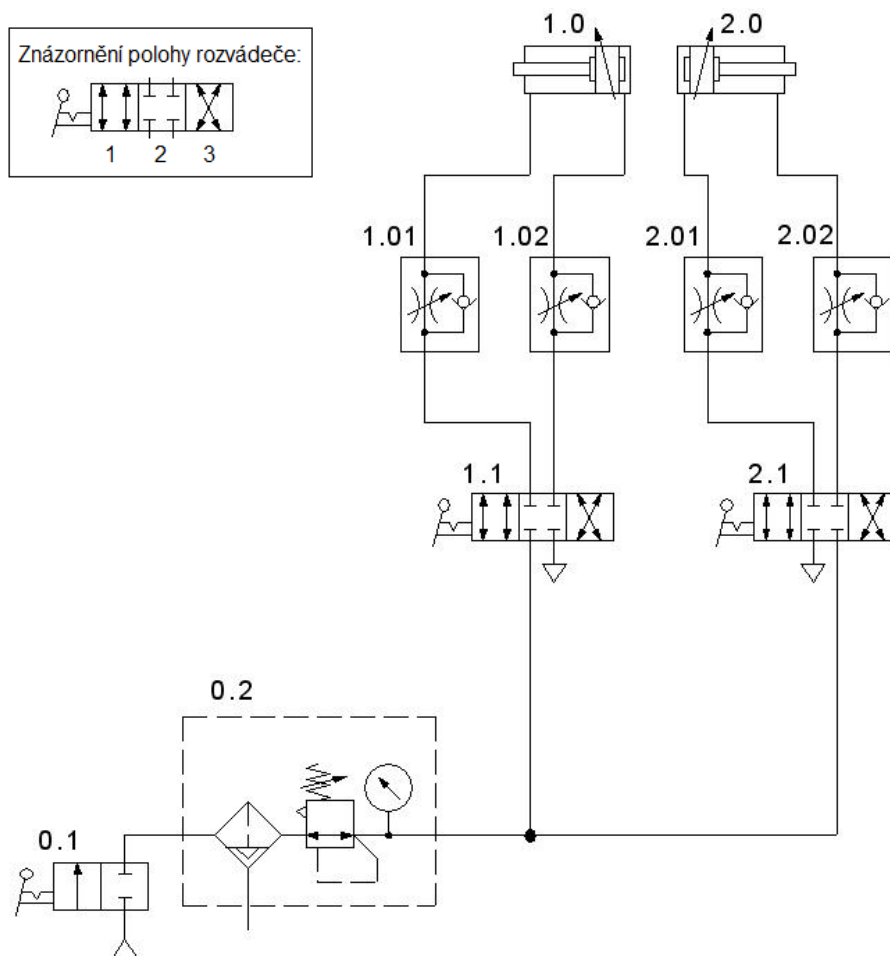
Dvojnohé víceúrovňové podpěry jsou ze čtyřhranné trubky. Díky teleskopickým nohám lze plynule nastavovat výškové úrovně jednotlivých tratí. Otočnými destičkami v kloubech podpěry lze nastavit sklony tratí. Podpěry jsou připevněny s roztečí 2m na upínací destičky rámu. Kyvná část dopravníku je spojena s rámem celé tratě osou, která

umožní nastavení volné polohy kyvně uchyceného dopravníku. Osa je z obou stran zajištěna závlačkou proti vysunutí. Ploché spoje, kterými prochází osa, jsou k dopravníku přišroubovány čtyřmi šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M6 x 12 [4].

Dílčí zdvihy kyvné části jsou realizovány spojením dvou pneumatických válců, pomocí montážní sady pro více poloh válce. První válec je spojen vidlicovou koncovkou se svařovaným rámem, který je přišroubovaný na rám podpěry. Druhý válec je spojen vidlicovou koncovkou se svařovaným rámem, který je přišroubovaný k zemi.

## 2.2 Schéma pneumatického obvodu s použitými prvky

Pneumatický obvod je zakreslen v poloze, kdy jsou oba pneumomotory zasunuté. Kyvná část na obr. 2.1 je tedy v dolní poloze a do obvodu není třeba přivádět stlačený vzduch.



Obr. 2.4 Schéma pneumatického obvodu



Rozpis prvků:

- 0.1 2/2 rozváděč ovládaný mechanicky s aretací, normálně uzavřený
- 0.2 Filtr – regulátor s manometrem, modulární jednotka, nastavený tlak 0,5 MPa.
- 1.1, 2.1 4/3 rozváděč, se střední polohou uzavřenou, ovládaný mechanicky s aretací
- 1.01, 1.02 Jednosměrný škrticí ventil pro válec 1.0
- 2.01, 2.02 Jednosměrný škrticí ventil pro válec 2.0
- 1.0, 2.0 Dvojčinný pneumatický válec s jednostrannou pístnicí a tlumením v koncové poloze

## **2.3 Popis řízení polohování dopravníku**

Pohyb pneumatických válců je realizován pomocí dvou ručně ovládaných rozváděčů 1.1 a 2.1, přičemž každý rozváděč ovládá jeden pneumomotor 1.0 a 2.0. Výchozí poloha kyvné části je v dolní úvrati, sklon je pod úhlem  $18,4^\circ$ . Oba pneumomotory jsou zasunuty a není třeba přivádět stlačený vzduch do obvodu.

Přestavením rozváděče 0.1 se dostane stlačený vzduch do obvodu k pneumatickým prvkům, pomocí nichž realizujeme dílčí zdvihy kyvné části. Po přestavení prvního rozváděče 1.1 z výchozí uzavřené polohy 2 do polohy 3, se vysune první válec 1.0 na celý zdvih, který je 125 mm, čímž se kyvná část zvedne do střední polohy, která je pod úhlem  $9,2^\circ$ . Po následném přestavení druhého rozváděče 2.1 do polohy 3, se vysune druhý válec 2.0, jehož zdvih je také 125 mm a kyvná část je po vysunutí obou válců v horní úvrati ve vodorovné poloze.

Pro zpětné přestavení kyvné části do dolní úvrati je třeba přepnout oba rozváděče 1.1 a 2.1 do polohy 1. [3]

## **2.4 Analýza současného stavu konstrukce, obvodu a řízení**

Původní řešení konstrukce a pneumatického obvodu splňuje pracovní funkci, není však s ohledem na dnešní platné normy EU bezpečné, viz kapitola 3.3.

Kulový kohout 2/2, označen ve schématu 0.1, neumožní při uzavření vypuštění stlačeného vzduchu ze systému. To může způsobit nechtěný pohyb pneumomotorů při přestavení rozváděčů 1.1 nebo 2.1, i když bude přívod stlačeného vzduchu kulovým kohoutem 0.1 uzavřen. Rozváděče 1.1 a 2.1 jsou z ekonomického hlediska nevhodně zvolené, místo 3 poloh by stačili polohy 2.

Manuální ovládání dopravníku je příliš blízko kyvné části a může způsobit úraz samotné obsluhy. Dále jsou zde i rizika poškození zdraví dané nevhodnou konstrukcí dopravníku, kterými se budu věnovat podrobněji v kapitole 4.1.

### **3 Zadání pro implementaci dopravníku do balicí linky**

Současný vícepolohový dopravník má být s ohledem na zvýšení produktivity součástí moderní balicí linky. Dopravník již nebude standardně ovládat obsluha, bude automatizovaný.

Dopravník bude ve standardním režimu pracovat automaticky, v případě potřeby ho bude možné řídit přes operační panel baličky v manuálním režimu a počítá se i s režimem servisu. Implementace dopravníku do balicí linky je myšlena jako dodávka strojního zařízení a musí být v souladu se stávající směrnicí o strojních zařízeních 2006/42/ES.

#### **3.1 Popis funkce balicí linky**

Balicí stroj výrobek zabalí do kartonového boxu rozměrů 250 x 250 x 100mm, vygeneruje a přilepí na box čárový kód. Čtečka čárového kódu je umístěna za balicím strojem, 3m před začátkem kyvné části dopravníku. Čtečka čárového kódu pošle signál do řídicího systému, který kyvnou část dopravníku přestaví do požadované polohy. Balicí stroj pracuje v taktu 1 výrobek za 5s.

V případech, že by nebyl kód na balíku rozpoznán, popř. by na balíku chyběl, systém rozhodne, že balík bez čitelného kódu bude nasměrován na spodní větev, kde bude v další sekci linky odkloněn. Obsluha tento balík dále odbaví manuálně dle pracovního postupu.

### **3.2 Vstupní parametry**

Zadaná technická data:

Počet poloh kyvné části dopravníku: 3

Hmotnost výrobku: 5kg

Rozměr výrobku: 250 x 250 x 100mm

Délka výkyvné části dopravníku: 1500mm

Výšková diference dopravníku: 2 x 250mm

Doplňující vypočtená data z bakalářské práce:

Celková hmotnost kyvného rámu: 10kg

Rychlost pohybu pístu:  $100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$

Rychlost pohybu výrobku před kyvnou částí dopravníku:  $0,955 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Doplňující data pro implementaci automatizovaného dopravníku za balicí linku:

Takt balicí linky: 1 výrobek za 5s

Umístění čtečky čárového kódu před začátkem kyvné části dopravníku: 3m

### **3.3 Směrnice pro strojní zařízení**

Směrnice pro strojní zařízení se týká dodávání nových strojních zařízení a dalšího příslušenství včetně bezpečnostních komponent. V EU se posuzuje dodání stroje, který nevyhovuje ustanovením a požadavkům této směrnice, jako porušení zákona.

Ustanovení stávající směrnice 2006/42/ES nabyla účinnosti 12/2009. Výrobce nebo jeho zplnomocněný zástupce jsou odpovědní za to, aby dodávané zařízení vyhovovalo této směrnici. K jejich povinnostem patří zejména dodat ES prohlášení o shodě, aplikovat značku CE, tam kde je to třeba a poskytnout soubor technické dokumentace.

Dodává-li se zařízení pro montáž s jinými součástmi, při níž později vznikne kompletní stroj, musí se k němu vydat: **Prohlášení ES o zabudování neúplného strojního zařízení**. Označení CE v takovém případě nemusí být pro dílčí dodávané zařízení použito, ale provozovatel kompletního stroje musí označení CE zajistit.

V prohlášení ES musí být uvedeno, že zařízení není dovoleno uvést do provozu, pokud nebylo vydáno prohlášení o shodě pro stroj, do něhož bylo začleněno. Musí být připraven soubor technické dokumentace a neúplné strojní zařízení musí být dodáváno s informacemi popisujícími podmínky, které musejí být dodrženy s ohledem na správné zabudování do konečného strojního zařízení, aby nebyla ohrožena bezpečnost. [5]

**Označení CE** dokládá, že výrobek byl posouzen před uvedením na trh Evropského hospodářského prostoru a splňuje legislativní požadavky EU - tzn. že výrobce ověřil / nechal ověřit oznámeným subjektem, že výrobek splňuje všechny příslušné základní požadavky (např. bezpečnost, ochranu zdraví, ochranu životního prostředí) z příslušné směrnice. [6]

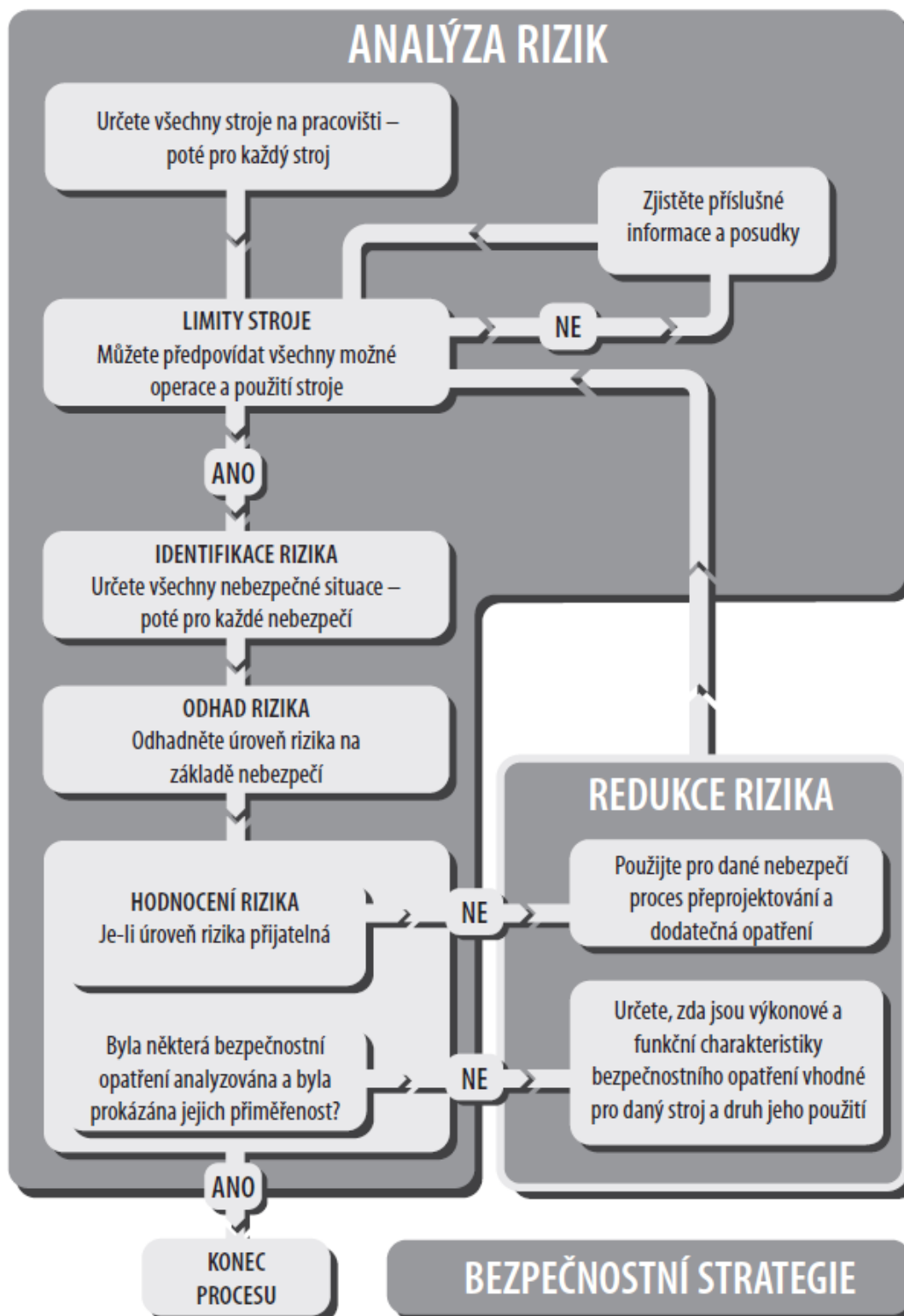
V této diplomové práci se nebudu prohlášením o shodě a patřičnou dokumentací dále zabývat. V kapitole 6. však popíši základní bezpečnostní provozní podmínky.

## **4 Strategie návrhu bezpečného strojního zařízení**

Norma ČSN EN ISO 12100:2011 definuje základní terminologii a metodologii používanou k dosažení bezpečnosti strojního zařízení.

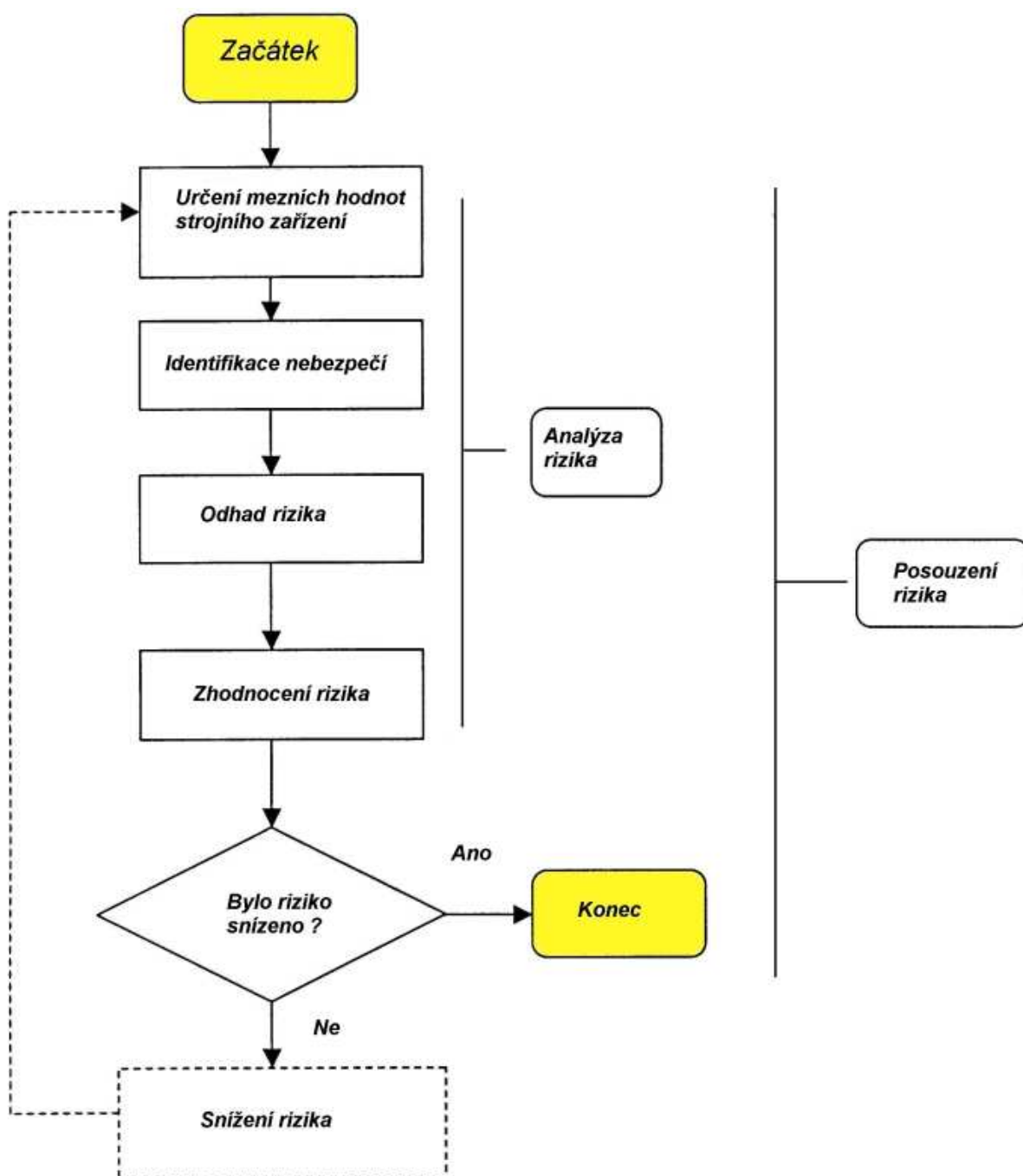
Opatření stanovená v této normě jsou určena pro konstruktéra. Norma zjednodušeně popisuje, jakým způsobem by měl konstruktér při návrhu nebo úpravě stroje postupovat, na co si dát pozor a čeho se vyvarovat.

Bezpečnostní strategie pro návrh stroje popisuje soubor úkonů a kontrolních bodů, které vedou ke zvýšení bezpečnosti stroje. Na obr. 4.1 je popis pro navržení vhodné bezpečnostní strategie, který je uveden a popsán detailně ve zdroji [5].



Obr. 4.1 Bezpečnostní strategie [5]

Pro usnadnění pochopení kroků daných bezpečnostní strategií, použijí zjednodušené blokové schéma na obr. 4.2. V následujících podkapitolách je celý postup vysvětlen a proveden.



Obr. 4.2 Schéma bezpečnostní strategie [15]

Zkrácený výklad pojmů a klíčových slov:

**Riziko** - kombinace pravděpodobnosti výskytu škody a závažnosti této škody.

**Posouzení rizika** - celkový proces zahrnující analýzu rizika a hodnocení snížení rizika.

**Analýza rizika** - určení mezních hodnot stroje, identifikace nebezpečí a odhadu rizika.

**Mezní hodnoty stroje** - informace týkající se součástí, mechanismů a funkcí stroje.

**Identifikace nebezpečí** – typy nebezpečí související se strojem a jeho obsluhou.

**Odhad rizika** - odhad závažnosti škody a pravděpodobnosti jejího výskytu.

**Hodnocení rizika** - rozhodnutí, na základě analýzy rizika, zda bylo dosaženo cílů snížení rizika.

**Opatření pro snížení rizika** - snížení rizika podle zákonných požadavků, při uvažování současného stavu zařízení. [5] [7]

## **4.1 Posouzení rizika**

Je základním krokem celého procesu. Je založené na jasném pochopení limitů stroje a jeho funkcí i rozsahu úkolů, které bude na stroji během celé jeho životnosti nutné vykonávat. Posouzení rizika je celkový proces zahrnující analýzu rizika a hodnocení snížení rizika.

**Na základě informací vyplývajících z posouzení rizika se vyberou vhodná ochranná opatření pro snížení rizika.**

Ochranná opatření pro snížení rizika jsou popsána v kapitole 4.2 a měla by být dodržena v tomto pořadí:

**Krok 1: Opatření zabudovaná v konstrukci** – maximální možné vyloučení nebo omezení rizik v rámci návrhu a konstrukce stroje.

**Krok 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření** – instalace potřebných ochranných systémů za účelem odstranění rizik, která nemohla být vyloučena ve fázi konstrukce.

**Krok 3: Informace pro používání** – poučení provozovatelů či uživatelů o zbytkových rizicích, specifikace jakýchkoliv pomůcek osobní ochrany, zaškolení, postupy a pravidelné kontroly. [5]



### 4.1.1 Analýza rizika

Analýza rizika je proces zahrnující určení mezních hodnot strojního zařízení, identifikace nebezpečí, odhad a zhodnocení rizika. Jednotlivé pod-procesy analýzy rizik jsou popsány v dalších podkapitolách.

#### 4.1.1.1 Určení mezních hodnot stroje

Zahrnuje shromáždění a analýzu informací týkajících se součástí, mechanismů a funkcí stroje a jeho okolí, ve kterém bude používán. Zvažují se typy úkolů lidské interakce se strojem a prostředím. Cílem je porozumění principům stroje a jeho používání.

V mém případě redukuji požadavky na stanovení limitů stroje a řeším pouze automatický, manuální chod a servisní režim pro údržbu, kde také zvažuji následky rozumně předvídatelného nesprávného použití stroje nebo jeho chybné funkce. [5]

#### 4.1.1.2 Identifikace nebezpečí

Účelem tohoto procesu je identifikace relevantních a významných nebezpečí, která může stroj vytvářet a nebezpečí spojených s prostředím, ve kterém je předpokládáno, že bude stroj používán.

Tato nebezpečí jsou detailně popsána v normě ČSN EN ISO 12100:2011 a pro můj případ pohyblivé části dopravníku jsem z této normy [7] čerpal např. **mechanická nebezpečí**.

Mechanická nebezpečí spojená se strojem, částmi stroje nebo povrchy, nástroji, obrobky, zatížením nebo s vymrštěním pevných materiálů nebo s vystříknutím kapalin mohou způsobit:

- stlačení nebo stříh
- pořezání nebo uříznutí
- vtažení nebo zachycení
- naražení

- bodnutí nebo propíchnutí
- tření nebo odření
- výron vysokotlaké tekutiny (nebezpečí vstříknutí)

Mechanická nebezpečí, která mohou být vytvořena strojem, strojními částmi, obrobky nebo zatížením jsou, kromě jiných faktorů podmíněná:

- tvarem (řezné prvky, ostré hrany, hranaté části, i v případě, že jsou nepohyblivé)
- vzájemnou polohou, která může při pohybu vytvářet místa stlačení, stříhu, místa s nebezpečím navinutí
- stabilitou proti převrácení
- hmotností a stabilitou
- hmotností a rychlostí
- zrychlením/zpomalením
- neodpovídající mechanickou pevností, která může vytvářet nebezpečně lomy nebo trhliny
- potenciální energií pružných prvků, nebo tlakem nebo podtlakem kapalin nebo plynů
- pracovním prostředím

#### 4.1.1.3 Odhad a zhodnocení rizika

Je to jeden z nejdůležitějších aspektů posouzení rizik. K tomu, abych mohl mít jistotu, že jsem zvážil všechny aspekty a že se hlavní princip neztratil v detailech, potřebuji kontrolní seznam. Celý proces by měl být zdokumentován. Zdokumentování nezajistí jen důkladnější práci, ale umožní také zpřístupnění výsledků dalším stranám. [5]

Dokumentaci vytvořím pomocí efektivního nástroje **FMEA** (Failure Mode and Effects Analysis, analýza možného výskytu a vlivu vad). Je to analytická metoda, jejímž cílem je identifikovat místa možného vzniku nebezpečí. Tato metoda je často používaná při návrhu, nebo výrobě stroje i finálních výrobků. Metoda také pomáhá odhalovat rizika již v rané fázi plánování, což znamená úsporu času a možnost jeho investice do vývoje výrobku. Díky této metodě je také důkladně zdokumentován výrobní, popř. pracovní postup daného výrobku nebo mechanismu. [8]

Jsou celkem 3 základní druhy FMEA, které jsou dle [8] definovány takto:

**DFMEA** - *Design Failure Mode Effects Analysis* (FMEA návrhu produktu) analyzuje výrobek dříve, než se začne s výrobou. Zaměřuje se na druhy vad způsobené nedostatky konstrukce (návrhu). Tato analýza se provádí ještě před konstrukcí samotného produktu. Analýzu provádí tým, který má zkušenosti s podobným produktem. V ideálním případě by tato metoda měla prozkoumat všechny možné způsoby vzniku poruchy a tím předcházet problémům dříve, než nastanou. Pokud se v návrhové fázi nepodaří úplně odstranit nalezenou chybu, tým dbá na to, aby alespoň co nejvíce omezil příčiny a zmínil její následky.

**PFMEA** - *Process Failure Mode Effects Analysis* (FMEA výrobních procesů) analyzuje výrobní a montážní procesy, nedostatky procesu výroby nebo montáže. Zpracovávají se a hodnotí možnosti selhání procesu a jeho efektivnosti. Mimo jiné se identifikují akce, které odstraní nebo redukují pravděpodobnost tohoto selhání. Dokument PFMEA by měl být sestaven nejpozději ke dni zahájení nebo ve fázi proveditelnosti, před vlastní produkcí; měl by také vzít v úvahu všechny výrobní operace z jednotlivých součástí. PFMEA identifikuje a řadí každé potenciální riziko selhání pro každý zpracovatelský krok.

**SFMEA** - *System Failure Mode Effects Analysis* (systémová FMEA) analyzuje systémy a subsystémy v raném (konceptním) stádiu a zaměřuje se na interakce mezi produkty a procesy. [8]

Vzhledem k tomu, že jde o modernizaci mechanismu, kde předpokládám úpravy konstrukce tak i zároveň změnu pracovních procesů, aplikuji **SFMEA**.

Důležité pojmy v dokumentu FMEA, který je přílohou této práce:

**RPN** - *Risk Priority Number*, jde o číselné hodnocení a přiřazení důležitosti pro potenciální selhání. Číselné hodnocení a přiřazení důležitosti pomáhají inženýrským službám a managementu k tomu, aby určili, jak alokovat čas a finanční rozpočty na řešení potenciálních selhání. [8]

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Hodnota RPN se vypočte ze vzorce: **RPN = P x Fr x Z**, kde:

P - pravděpodobnost, že se při prováděné činnosti stane nějaký úraz.

Fr - frekvence výskytu provádění určité činnosti.

Z - závažnost, zdravotní následek úrazu při prováděné činnosti.

Stupeň a význam rizika:

**Nepřijatelné riziko** - permanentní možnosti úrazů, závažné nehody.

**Nežádoucí riziko** - vyžadující urychlené provedení odpovídajících bezpečnostních opatření, která sníží riziko na přijatelnou úroveň a provedení nového vyhodnocení rizik.

**Významné riziko** - vyžaduje naplánování opatření ke snížení rizika.

**Akceptovatelné riziko** - přijatelné se souhlasem vedoucích pracovníků na všech úrovních.

**Nevýznamné riziko** - je na úrovni běžných životních situací, nejde o 100% bezpečnost, na riziko je třeba upozorňovat, činit výchovná opatření k eliminaci rizika z důvodu možné neopatrnosti.

V tabulce 4.1, která je i součástí přílohy B. Analýza rizik FMEA.xlsx, jsou popsány jednotlivé hodnoty RPN a jejich vliv na stupeň a význam rizika.

Tab. 4.1 Hodnocení RPN

RPN - Hodnocení RPN = P x Fr x Z			
RPN	Stupeň rizika	Význam / Důležitost	
337-1000	Nepřijatelné riziko	H	Vysoká
121-336	Nežádoucí riziko		
54-120	Významné riziko	M	Střední
13-53	Akceptovatelné riziko	L	Nízká
1-12	Nevýznamné riziko		

Při tvorbě FMEA jsem uvažoval 3 režimy provozu strojního zařízení a to automatický, manuální a servisní režim. Pro každý režim jsem uvažoval dvě pracovní prostředí a to práce u dopravníku v jeho těsné blízkosti a práci prováděnou v okolí dopravníku.

Pro každé pracovní prostředí jsem identifikoval jednotlivé nebezpečí a jejich potenciální dopad na zdraví člověka. Vyplněný dokument FMEA je součástí tištěné přílohy B. Analýza rizik FMEA.xlsx a je platný po revizi druhou osobou a schválením nadřízeného, např. vedoucím konstrukčního oddělení.

## 4.2 Ochranná opatření plynoucí z posouzení významného rizika

Jak bylo zmíněno již na začátku celého procesu strategie návrhu bezpečného zařízení, ochranná opatření by se měla dodržovat v tomto pořadí:

**Krok 1:** Opatření zabudovaná v konstrukci

**Krok 2:** Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření.

**Krok 3:** Informace pro používání (výstražné značky, signály, návod k používání).

### 4.2.1 Krok 1: Opatření zabudovaná v konstrukci

Na základě doporučení normy ČSN EN ISO 12100:2011 jsem se pokusil o návrh úpravy stávající konstrukce dopravníku a ověření možnosti instalací ochranných krytů. [7]

Navržené mechanické úpravy konstrukce zařízení rizika úrazů snížila, avšak úplně neodstranila, a to zejména v servisním režimu, kdy bude pracovník vykonávat úkony v přímém kontaktu se zařízením.

Uvedu dva příklady snížení rizik pomocí změny konstrukce z dokumentu SFMEA:

1. Snížení významu rizika v okolí dopravníku, kde zvažuji možnost zachycení a zakopnutí pracovníka o různé překážky vystupující z podlahy nebo části zařízení jako je rozvod elektřiny a stlačeného vzduchu.

Tab. 4.2

Nebezpečí, Identifikace ohrožení, Potenciální dopad	Risk Assessment				Význam
	P	Fr	Z	RPN	
Zachycení a zakopnutí o různé překážky, části vystupující z podlahy (hlavně přírodní vedení elektřiny a vzduchu), pohmoždění zápěstí, naražení kolena.	4	8	5	160	H

Tab. 4.3

Opatření pro snížení rizika	Risk Assessment				Význam
	P	Fr	Z	RPN	
Potrubí, hadice a elektrické kabely vést tak, aby nepřekážely (např. ve žlabu podlahy). V místech, kde může dojít k jejich proražení, nebo poškození tepelným účinkem atp. musí být vhodně chráněny (např. vhodnou izolací).	2	8	5	80	M

V tomto případě se mi podařilo snížit pravděpodobnost P z hodnoty 4 na hodnotu 2, jak je uvedeno v Tab. 4.3, čímž se snížilo RPN ze 160 na 80 a význam rizika z nežádoucího na riziko významné, které je však přijatelné, a kterým se nebudu již dále zabývat.

2. V druhém případě uvedu příklad rizika, který se mi nepodařilo snížit na přijatelné hodnoty, a to u servisního režimu, kde předpokládám, že údržba bude v přímém kontaktu s pohyblivými částmi dopravníku, které mu mohou způsobit určitá zranění.

Tab. 4.4

Nebezpečí, Identifikace ohrožení, Potenciální dopad	Risk Assessment				Význam
	P	Fr	Z	RPN	
Vznik těsných, úzkých profilů, přimáčknutí, zachycení, vznik tržných a řezných ran, pohmoždění končetin a skřípnutí prstů při pohybu kyvné části dopravníku.	8	7	8	448	H

Tab. 4.5

Opatření pro snížení rizika	Risk Assessment				Význam
	P	Fr	Z	RPN	
Úprava konstrukce kyvné části dopravníku, zaoblení hran, úpravy mezer u kterých hrozí riziko skřípnutí prstu nebo amputace prstu.	3	7	7	147	H

V tomto případě se mi podařilo snížit pravděpodobnost z hodnoty 8 na hodnotu 3, a zároveň závažnost z hodnoty 8 na 7, jak je uvedeno v Tab. 4.5, čímž se snížilo RPN ze 448 na 147. Hodnotu RPN jsem snížil, ale význam rizika je stále nežádoucí, a proto musí být učiněné patřičné kroky.

**Významné riziko s nejvyšším RPN se pokusím eliminovat pomocí bezpečnostních prvků, bezpečného pneumatického obvodu a bezpečným řídicím systémem.**

#### 4.2.2 Krok 2: Bezpečnostní ochrana a doplňková ochranná opatření.

Abych mohl správně nastavit bezpečnostní ochranu pro riziko s nejvyšším RPN, potřebuji znát hodnotu **PL** - *Performance level* (úroveň vlastností).

#### 4.2.2.1 Určení úrovně vlastností

Hodnota PL se určí pomocí diagramu, který popisuje 3 hlavní kritéria:

- závažnost zranění
- frekvence výskytu osoby u zařízení
- možnost snížení rizika

##### **Závažnost zranění:**

S1: lehké

S2: těžké

I přes veškerou snahu dospět k exaktní specifikaci vážného a lehkého zranění, se názory relevantních institucí rozcházejí. Závažnost zranění definuje nejčastěji zadavatel projektu a také institut BZOP.cz, který popisuje, že těžké zranění je to, které způsobí:

- hospitalizaci delší než 5 dní
- trvalé následky, např. amputace prstu, nebo i jizvu
- trvalou invaliditu, nebo smrt

##### **Frekvence výskytu osoby u zařízení:**

F1: občas

F2: často

Frekvenci definuje norma ČSN EN ISO 13849-1:2015. Frekvence „F2: často“ znamená:

- je-li osoba v neustálém styku s rizikem
- je-li frekvence styku osoby s rizikem větší než 1/20 celkového času na místě pracoviště
- jestliže se může osoba dostat do kontaktu s rizikem častěji než v 15 ti minutovém intervalu

##### **Možnost snížení rizika:**

P1: možné

P2: nemožné

Možnost snížení rizika definuje jako „P1: možné“:

- konstrukční změny, které význam rizika sníží na hodnoty přijatelné
- pravděpodobnost vyhnout se nebezpečí v situaci, kdy nebezpečí může nastat



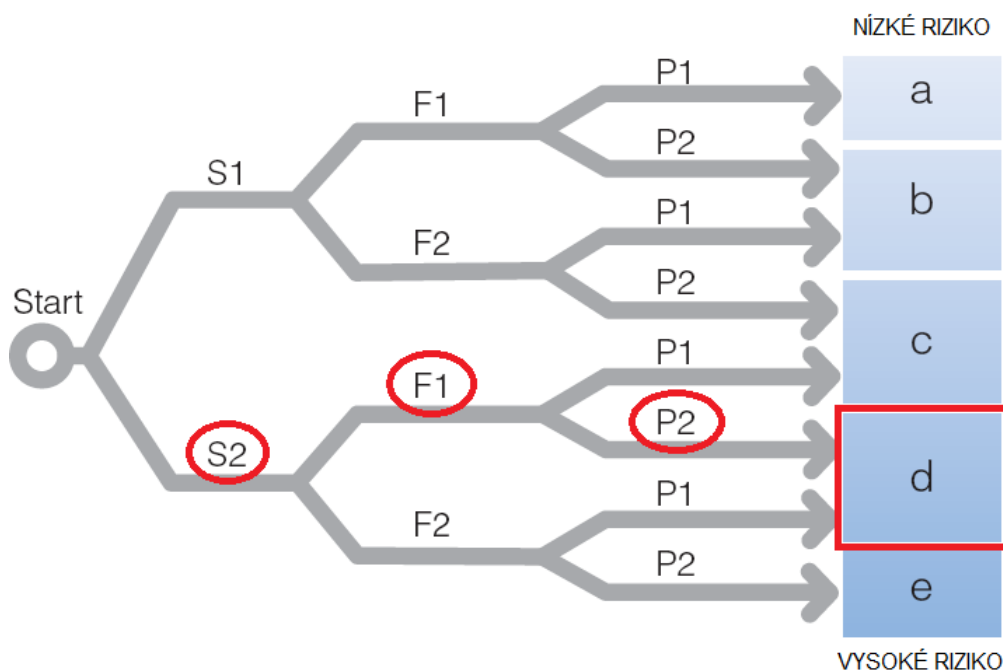
#### 4.2.2.2 Volba úrovně vlastností

U identifikovaného nebezpečí s nežádoucím významem **H**, Tab. 4.4 a 4.5, kde se mi nepodařilo snížit význam rizika, zvolím pro kritéria PL patřičnou hodnotu.

**Závažnost zranění:** volím hodnotu **S2** - předpokládám možnost těžkého úrazu při selhání bezpečnostního systému v servisním režimu.

**Frekvence:** volím **F1** - předpokládám, frekvence styku osoby s rizikem menší než 1/20 celkového času na místě pracoviště.

**Možnost snížení rizika:** volím **P2** - i po aplikaci všech opatření plynoucích z FMEA nebylo nežádoucí riziko dostatečně odstraněno. Předpokládám, že může dojít k situaci, kdy obsluha během servisu dopravníku nestihne v případě neočekávaného pohybů válců zareagovat včas a tím uniknout nebezpečí.



Obr. 4.3 Zvolená úroveň vlastností – d [10]

**Z diagramu vyplývá úroveň vlastností – PL d.**

### **4.2.3 Krok 3: Informace pro používání**

Je důležité, aby osoby, které budou stroj obsluhovat, byly i přes všechny aplikované bezpečnostní prvky náležitě proškoleny. Součástí návodu pro obsluhu a servis stroje je také definování osobních ochranných pracovních pomůcek. Druhem požadovaných pracovních pomůcek se v této práci nebude zabývat, je však dobré poukázat na to, že by je měl určit konstruktér stroje. [5]

## **5 Modernizace a automatizace kyvného dopravníku**

V této kapitole se budu zabývat popisem úpravy kyvného dopravníku a jeho prvků tak, aby ho bylo možné připojit za balicí linku, zprovoznit v automatickém režimu a splnit tak zadání projektu.

Dále navrhnu pneumatické schéma a bezpečný řídicí systém dle normy ČSN EN ISO 13849-1. Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci. [9]

V poslední části zkontroluji propustnost systému a ověřím bezpečnostní parametry vybraných prvků.

Modernizace kyvného dopravníku se skládá z těchto kroků:

- mechanické úpravy konstrukce pro snížení rizika navržené dle FMEA
- kontrola dimenze pneumomotorů
- návrh bezpečného pneumatického obvodu podle úrovně vlastností PL d
- specifikace nových pneumatických a elektropneumatických prvků
- kontrola propustnosti systému
- ověření bezpečnostních parametrů a prvků nástrojem SISTEMA

Automatizace a programové řízení kyvného dopravníku nebude z důvodu velkého rozsahu v této práci řešeno. Dopravník bude napojen na řídicí systém baličky a umístěn za ochranné oplocení s bezpečnostními vstupními dveřmi se zámkem. Provozovatel baličky přebírá odpovědnost za nastavení řídicího systému v úrovni vlastností PL d.

## **5.1 Mechanické úpravy konstrukce**

Na základě analýzy FMEA, ze které vzešlo, že některá mechanická rizika a nebezpečí jsou neakceptovatelná, jsem navrhnul úpravy původní konstrukce dopravníku dle normy ČSN EN ISO 12100:2011.

Jde především o úpravu mezer mezi stálou a pohyblivou částí dopravníku a zaoblením ostrých hran. Další úpravou jsou změny pozic přívodního vedení elektřiny a stlačeného vzduchu tak, aby se o ně nebylo možné zachytit, popř. zakopnout.

Následné konstrukční návrhy na změny je nutné zavést do konstrukčního a dispozičního výkresu, který je zpravidla součástí souboru základní technické dokumentace.

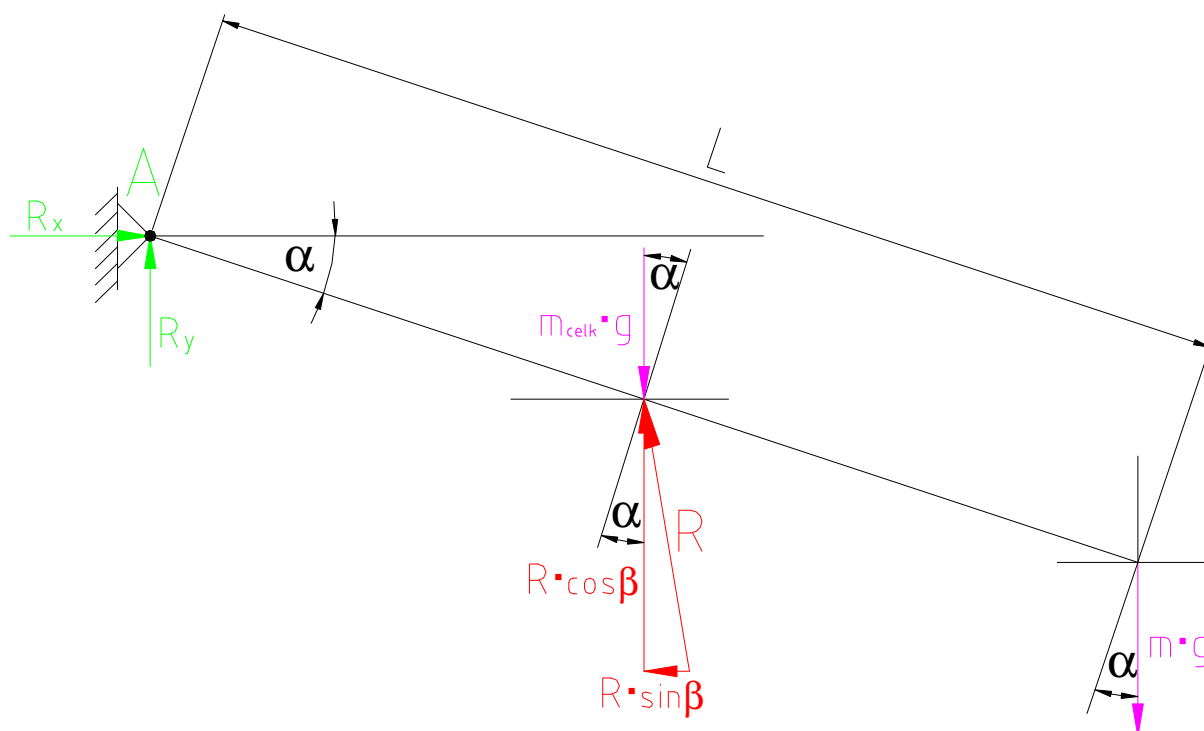
Dispozičním výkresem se v této práci nebudu zabývat, je však dobré poukázat na to, že by ho měl konstruktér stroje dle schváleného dokumentu FMEA detailně vypracovat.

## **5.2 Kontrola dimenze pneumomotorů**

Provedu kontrolu výpočtu dimenzování pneumomotorů uvedeného v bakalářské práci.

### **5.2.1 Síly působící na pístnici pneumomotoru**

Na obr. 5.1 jsou zobrazené zatěžující síly od hmotnosti celé kyvné části  $m_{celk} \cdot g$  působící v těžišti a od hmotnosti dopravovaného předmětu  $m \cdot g$  na konci tratě, při jejím největším sklonu. Dále je naznačená reakce R, která nahrazuje sílu v pístu, který je v dolní poloze skloněn pod úhlem  $\beta$  a reakce pro uvolnění vazby  $R_x$  a  $R_y$ . [14]



Obr. 5.1 Schéma zatížení tratě

Silovou soustavu jsem vyřešil rovnicemi rovnováhy:

$$\sum F_x = 0: \quad R_x - R \cdot \sin \beta = 0 \quad [N] \quad (5.2.1-1)$$

$$\sum F_y = 0: \quad R_y + R \cdot \cos \beta - m_{celk} \cdot g - m \cdot g = 0 \quad [N] \quad (5.2.1-2)$$

Dále pak momentovou rovnicí rovnováhy:

$$\sum M_A = 0: \quad [N \cdot m] \quad (5.2.1-3)$$

$$m_{celk} \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot \left( \frac{L}{2} \right) + m \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot L - R \cdot \cos \beta \cdot \cos \alpha \cdot \left( \frac{L}{2} \right) + R \cdot \sin \beta \cdot \sin \alpha \cdot \left( \frac{L}{2} \right) = 0$$

kde:

$\alpha$  - úhel sklonu výkyvné části (18,4) [deg]

$\beta$  - úhel sklonu pneumomotoru (5) [deg]

$L$  - délka výkyvné části (1,5) [m]

Maximální síla na pístnici:

$$R = \frac{g \cdot \cos \alpha \cdot \left[ m_{celk} \cdot \left( \frac{L}{2} \right) + m \cdot L \right]}{\left( \frac{L}{2} \right) \cdot \cos (\alpha + \beta)} = \frac{9,81 \cdot \cos 18,4 \cdot (9,929 \cdot 0,75 + 5 \cdot 1,5)}{0,75 \cdot \cos (18,4 + 5)} = 202,13 \text{ N}$$

Na pístnici bude působit největší možná síla  **$R = 202,13 \text{ N}$** .

## 5.2.2 Kontrola návrhu pneumomotoru

Volím pracovní tlak  $p_1 = 0,5 \text{ MPa}$ . Síla potřebná pro zdvih je  $202,13 \text{ N}$ .

Síla při vysouvání pístnice:

$$F_p = D_p^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot p_1 \cdot f_p \Rightarrow D_p \quad (5.2.2-1)$$

kde:

$D_p$  - průměr pístu [mm]

$f_p$  - třecí síla pístu a pístnice, koeficient zátěže (0,7) [1]

Teoretický průměr pístu:

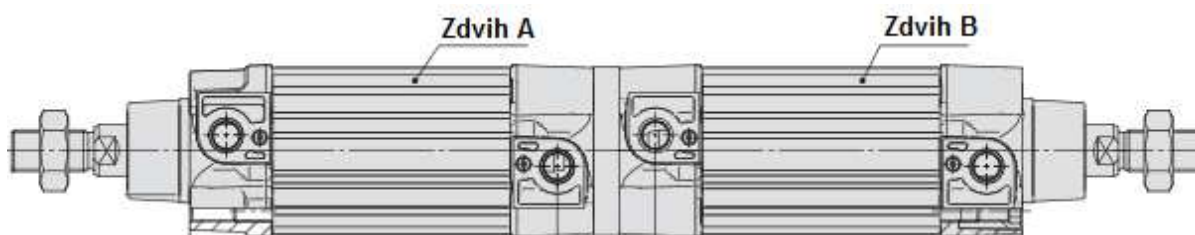
$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot F_p}{\pi \cdot p_1 \cdot f_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 202,13}{\pi \cdot 0,5 \cdot 10^6 \cdot 0,7}} = 0,0271 \text{ m} = 27,1 \text{ mm} \quad (5.2.1-2)$$

Pro zaručený rozběh dopravníku, kde uvažuji i potřebnou dynamickou sílu, volím průměru pístu  $D = 32 \text{ mm}$ .

### 5.2.3 Volba nového typu pneumomotoru

Z katalogu SMC volím: CP96SDB32-125+125C-XC10

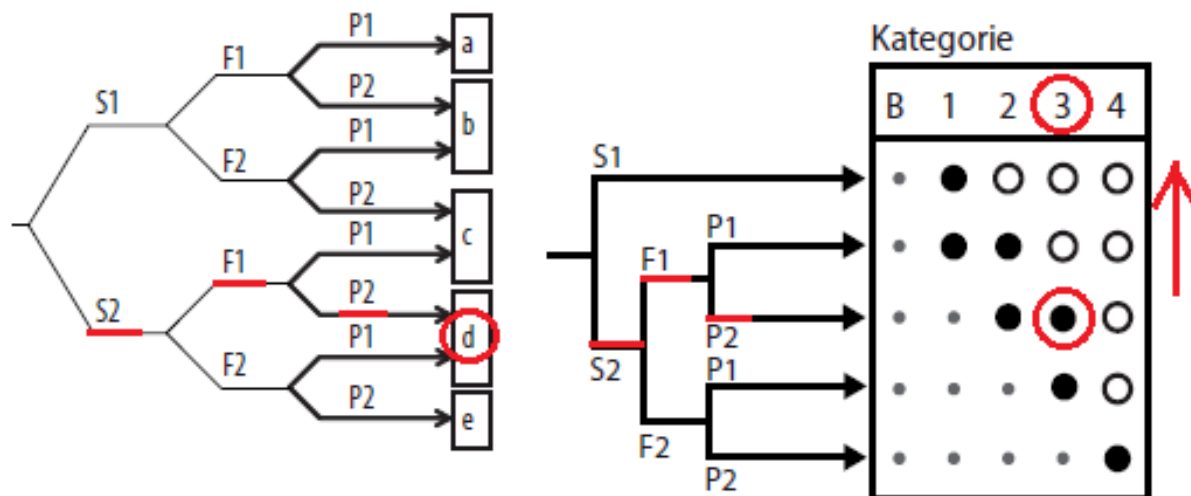
Jde o prvek, který se skládá ze dvou spojených pneumomotorů a montážní sady. Umožní kombinaci až 4 poloh. V případě, kdy se zdvihy A a B sobě rovnají, je možno dosáhnout přesně 3 poloh.



Obr. 5.2 Přímočarý pneumomotor CP96 – duální verze [12]

### 5.3 Návrh bezpečného pneumatického obvodu

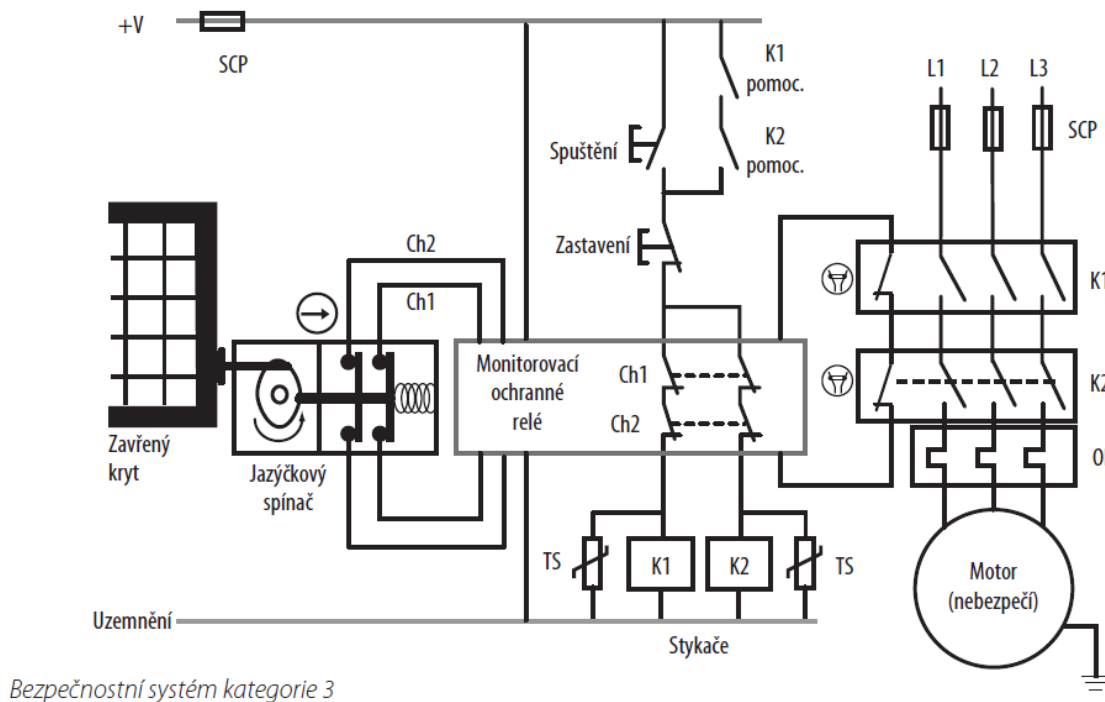
V této kapitole se budu věnovat návrhům a vylepšením pneumatického obvodu tak, aby obvod splňoval bezpečnostní funkci „bezpečné zastavení“ dle úrovně vlastností PL d. Pro úroveň vlastností PL d, je dle obr. 5.3 přípustné (značka ●) zavedení bezpečného systému kategorie 2 a 3. Pro PL d volím bezpečnostní systém **kategorie 3**.



Obr. 5.3 Graf rizik z přílohy A normy EN ISO 13849-1 a graf B z normy EN 945-1

Bezpečný systém dle kategorie 3 je definován zdvojenou (dvoukanálovou) bezpečností. Cílem je navrhnout takový elektropneumatický obvod, aby selhání jedné komponenty nevedlo ke ztrátě bezpečnostní funkce.

Instalace oplocení a bezpečnostních dveří se zámkem s jazýčkovým snímačem znázorňuje funkční bezpečnostní schéma dvoukanalového systému na obr. 5.4.



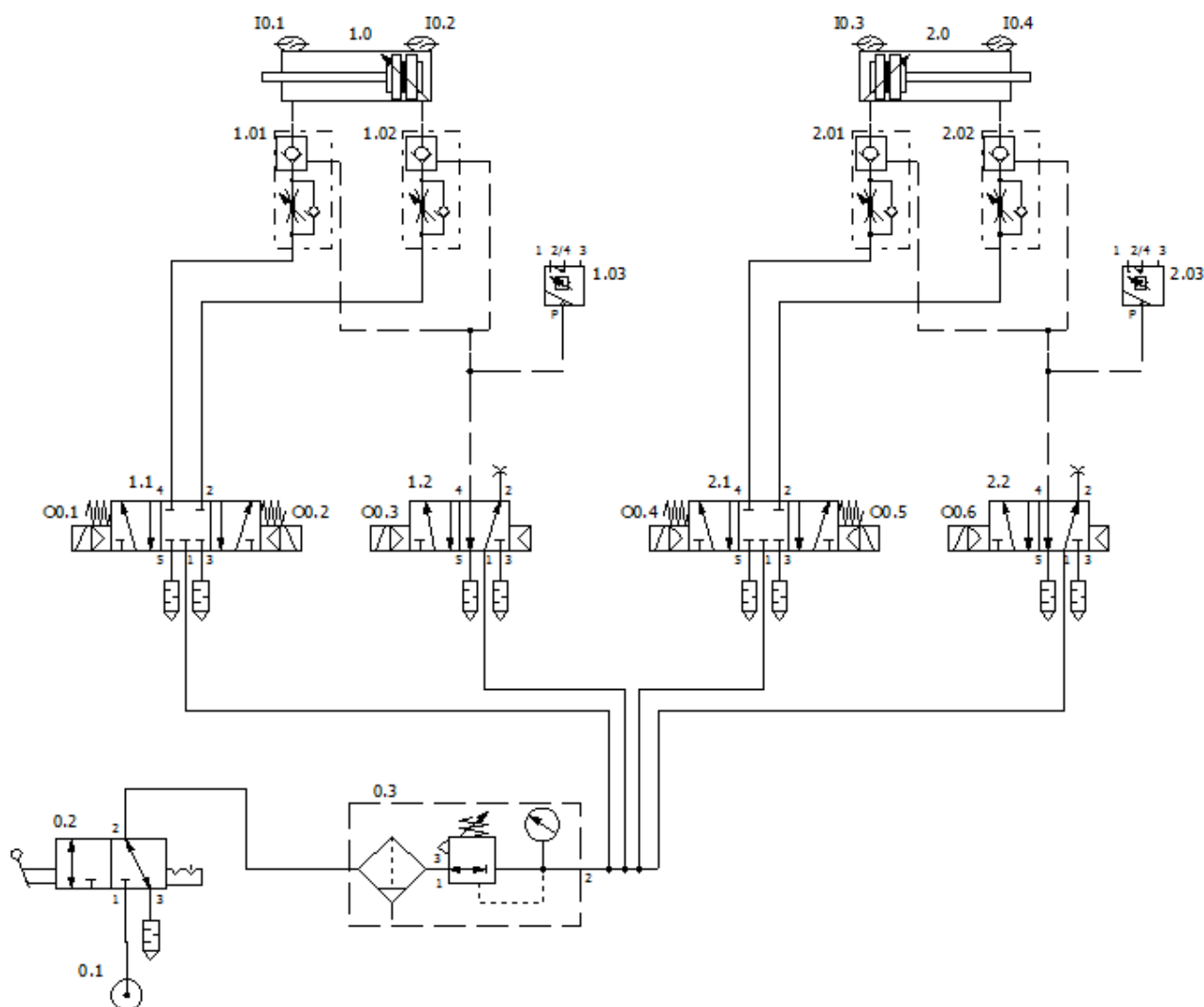
Obr. 5.4 Schéma bezpečnostního systému kategorie 3 [5]

Aby se dal bezpečnostní obvod dle kategorie 3 v PLC naprogramovat, je nutno upravit elektropneumatický obvod tak, aby těmto požadavkům vyhovoval.



### 5.3.1 Koncepční návrh dvoukanálového pneumatického obvodu

Do původního obvodu jsem přidal snímače koncových poloh na válce IO.1 až IO.4. Dále škrticí ventily se zámkem 1.01, 1.02, 2.01 a 2.02, digitální tlakové snímače 1.03 a 2.03, a upravil jsem i všechny rozváděče.



Obr. 5.5 Pneumatické schéma navrženého obvodu č. 1

První kanál bezpečnostní funkce tvoří rozváděče 1.1 a 2.1, které požadují signál IO.1, IO.2, IO.3, a IO.4 od koncových snímačů polohy obou válců pro dosažení požadovaného diagnostického krytí.

Druhý kanál tvoří rozváděče 1.2, 2.2 a škrticí ventily se zámkem 1.01, 1.02, 2.01 a 2.02. Digitální tlakové snímače 1.03 a 2.03 sledují v tomto případě funkci druhého kanálu se škrticími ventily se zámkem 1.01, 1.02, 2.01, 2.02 a rozváděče 1.2 a 2.2.

Rozpis prvků:

- 0.1 Zdroj stlačeného vzduchu
- 0.2 3/2 rozváděč ovládaný mechanicky přepínačem s aretací, normálně uzavřený
- 0.3 Filtr – regulátor s manometrem, modulární jednotka, nastavený tlak 0,5 MPa.
- 1.1, 2.1 5/3 rozváděč, monostabilní nepřímý ovládaný, se zpětným pohybem pružinou, střední poloha uzavřena, ovládaný elektromagneticky
- 1.2, 2.2 5/2 rozváděč, monostabilní nepřímý ovládaný, normálně uzavřený
- 1.01, 1.02 Škrticí ventil se zámkem, bezpečnostní ventil ASP pro válec 1.0
- 2.01, 2.02 Škrticí ventil se zámkem, bezpečnostní ventil ASP pro válec 2.0
- 1.0, 2.0 Dvojdílný pneumatický válec s jednostrannou pístnicí a tlumením v koncové poloze
- 1.03, 2.03 Digitální tlakový snímač

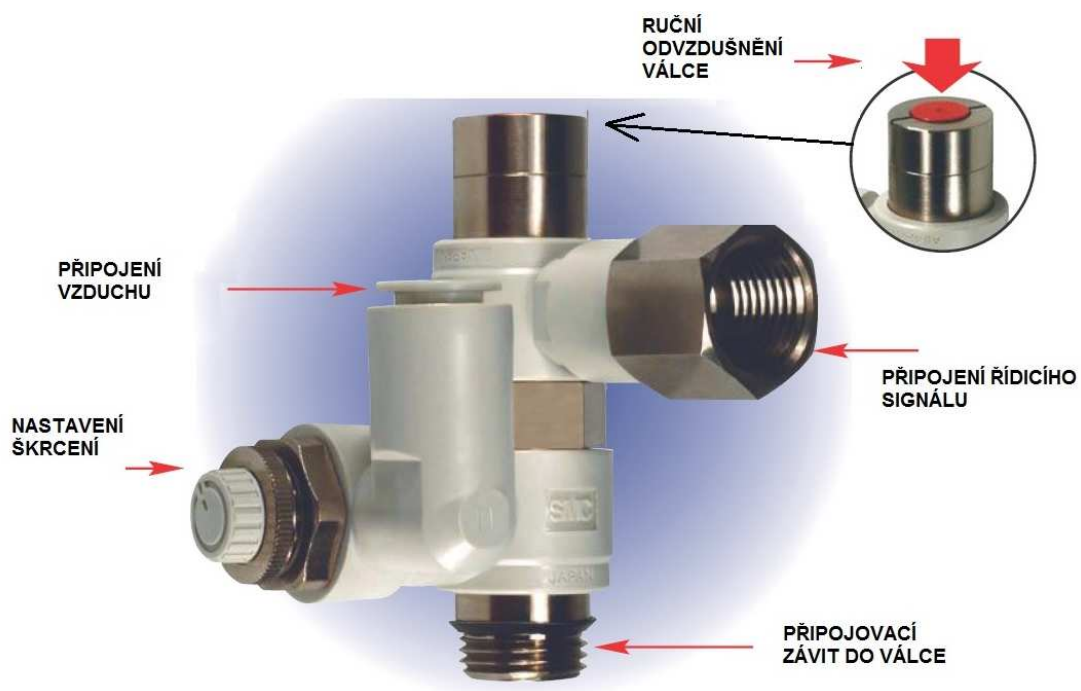
Takto navržený obvod by v automatickém režimu umožňoval dosáhnout úrovně vlastností PL d. Obvod musí být bezpečný i v režimu servisním, tedy i v případě, že na dopravníku bude vykonávat práci údržba.

**Pro bezpečný servisní režim je v obvodu potřeba udělat tyto změny:**

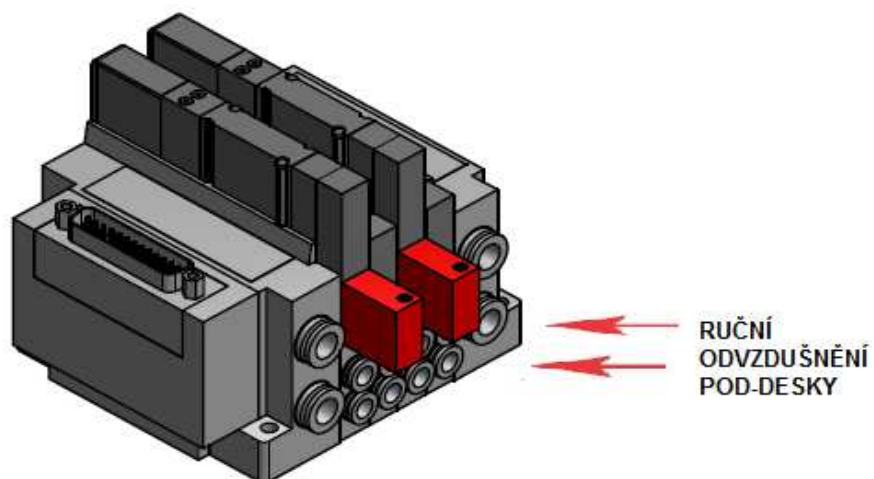
- v obvodu je potřeba vyměnit ASP ventily se zámkem za ASP ventily se zámkem a s možností ručního odvzdušnění. Popis ventilu ASP je na obr. 5.6.
- umístit 5/3 rozváděče na pod-desku s možností ručního odvzdušnění střední polohy. Model a popis 5/3 rozváděčů umístěných na pod-desce je na obr. 5.7.

Obě změny jsou požadované proto, že ASP ventily odvzdušňují z bezpečnostních důvodů do hadice a nikoliv do atmosféry.

Zvolená pod-deska s možností ručního odvzdušnění nyní umožňuje vypuštění vzduchu z komor válců do atmosféry. Aby se obvod odvzdušnil, je potřeba stisknout odvzdušnění jak ASP, tak i pod-desky 5/3 rozváděčů. Nechtěné stisknutí tlačítka pro odvzdušnění pouze na jednom prvku nepředstavuje nebezpečí.



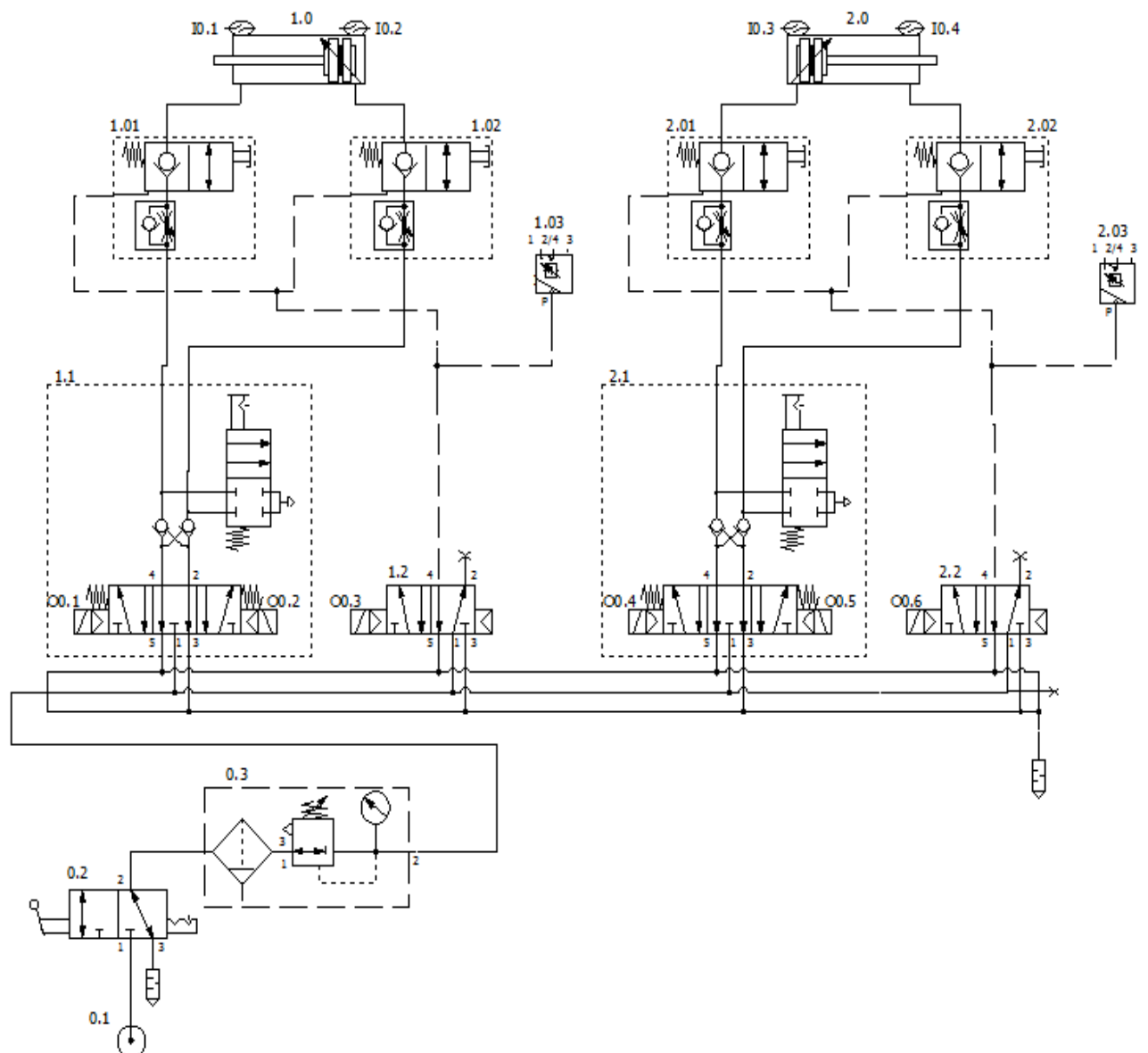
Obr. 5.6 Bezpečnostní ventil ASP se zámkem a ručním odvzdušněním



Obr. 5.7 5/3 rozváděče umístěné na pod-desce s ručním odvzdušněním

### 5.3.2 Úprava koncepčního návrhu pneumatického obvodu

Do obvodu jsem vložil škrticí ventily se zámkem a ručním odvzdušněním 1.01, 1.02, 2.01 a 2.02, rozváděče 1.1, 1.2, 2.1 a 2.2 jsem umístil na pod-desku s možností ručního odvzdušnění střední polohy na rozváděči 1.1 a 2.1.



Obr. 5.8 Pneumatické schéma obvodu č. 2

V rozpisce se změny tyto prvky:

1.01, 1.02 Škrticí ventil se zámkem a ručním odvzdušněním, bezpečnostní ventil ASP

2.01, 2.02 Škrticí ventil se zámkem a ručním odvzdušněním, bezpečnostní ventil ASP

1.1, 2.1 5/3 rozváděč, monostabilní nepřímý ovládaný, se zpětným pohybem pružinou, střední poloha uzavřena, ovládaný elektromagneticky s možností ručního odvzdušnění střední polohy. [12]

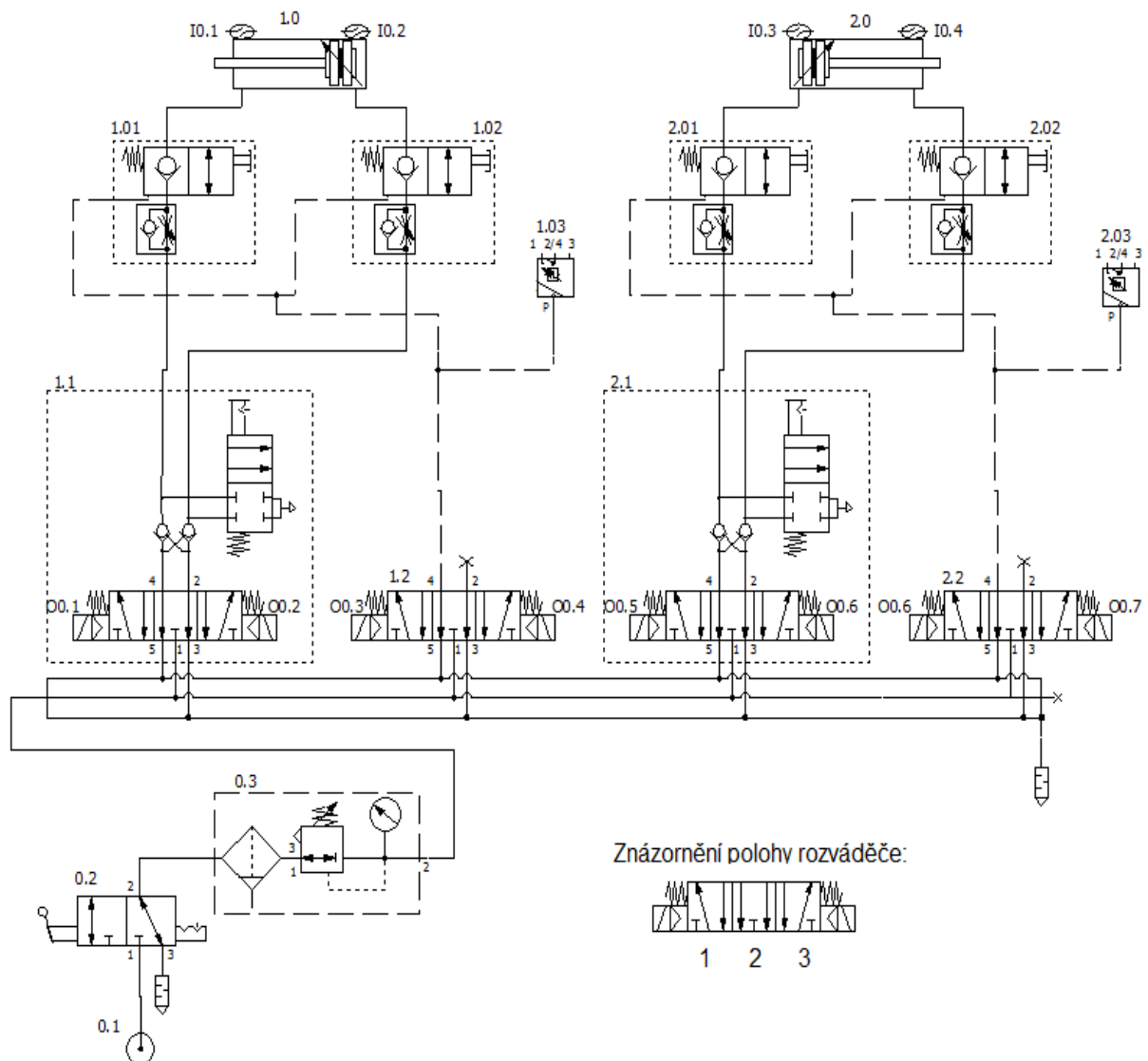
**Takto navržený obvod již splňuje bezpečnost i pro servisní režim údržby.**

Po konzultaci navrženého obvodu č. 2 se specialistou na bezpečnost mi byla doporučena ještě jedna úprava a to výměna 5/2 rozváděčů ovládaných vzduchovou pružinou za 5/3 rozváděče ovládané mechanickou pružinou, se střední polohou otevřenou a zaslepeným portem 2.

Hlavní důvod této změny je, že původní 5/2 rozváděče se přestavují do základní polohy vzduchovou pružinou. Ačkoli to nebylo doposud u těchto rozváděčů v praxi zpozorováno, existuje hypotetická šance, že šoupátko rozváděčů se vzduchovou pružinou zůstane při ztrátě tlaku v nedefinované poloze.

Zvolené 5/3 rozváděče s mechanickou pružinou, patří do kategorie well-tried, neboli ověřených bezpečnostních komponentů. Mechanické pružiny v těchto rozváděčích jsou svým průměrem a vlnutím konstruovány tak, aby fungovaly i při poškození, např. i při několikanásobném prasknutí.

### 5.3.3 Finální úprava pneumatického obvodu



Obr. 5.9 Pneumatické schéma obvodu č. 3

V rozpisce se změní tyto prvky:

- 1.2, 2.2 5/3 rozváděč, monostabilní nepřímo ovládaný, se zpětným pohybem pružinou, střední poloha otevřena, ovládaný elektromagneticky se zaslepeným portem 2.

[12]

**Jako finální pneumatický obvod jsem zvolil schéma obvodu č. 3.**

### **5.3.4 Popis funkce vybraného pneumatického obvodu č. 3**

Pohyb pneumatických válců je realizován pomocí dvou elektromagneticky ovládaných rozváděčů 1.1 a 2.1, přičemž každý rozváděč ovládá jeden pneumomotor 1.0 a 2.0. Výchozí poloha kyvné části dopravníku je v dolní úvrati, oba pneumomotory jsou zasunuty a není třeba přivádět stlačený vzduch do obvodu. Přestavením rozváděče 0.2 do polohy 1 se dostane stlačený vzduch do obvodu k pneumatickým prvkům, pomocí nichž se realizují dílčí zdvihy kyvné části.

Po přestavení prvního rozváděče 1.1 z výchozí střední polohy 2 do polohy 3, se vysune první válec 1.0 na celý zdvih. Po následném přestavení druhého rozváděče 2.1 do polohy 1, se vysune druhý válec 2.0 na celý jeho zdvih a kyvná část je po vysunutí obou válců v horní úvrati ve vodorovné poloze.

Pro zpětné přestavení kyvné části do dolní úvrati je třeba přepnout rozváděč 1.1 do polohy 1 a rozváděč 2.1 do polohy 3.

Navržený pneumatický obvod umožňuje bezpečné zastavení pohonů v případě, že dojde k překonání bezpečnostní zábrany či poruchy stroje.

První kanál bezpečnostní funkce tvoří rozváděče 1.1 a 2.1, které požadují signál I0.1, I0.2, I0.3, a I0.4 od koncových snímačů polohy obou válců pro dosažení požadovaného diagnostického krytí.




Druhý kanál tvoří rozváděče 1.2, 2.2 a škrticí ventily se zámkem 1.01, 1.02, 2.01 a 2.02. Digitální tlakové snímače 1.03 a 2.03 sledují v tomto případě funkci druhého kanálu se škrticími ventily se zámkem 1.01, 1.02, 2.01, 2.02 a rozváděče 1.2 a 2.2.

V servisním režimu zajišťují bezpečnost rozváděče 1.1 a 2.1, které jsou uloženy na pod-desce s možností ručního odvzdušnění a také škrticími ventily se zámkem a možností ručního odvzdušnění 1.01, 1.02, 2.01 a 2.02.

Doplňková ochrana proti nechtěnému spuštění při plánovaném servisu je částečně zajištěna na rozváděči 0.2, který umožňuje rozváděč mechanicky zamknout díky funkci LOTO (Lock Out Tag Out).










## 5.4 Specifikace pneumatických prvků

Tab. 5.1 Seznam použitých prvků

Číslo [Q ni]	Označení ve schématu	Obrázek	Číslo prvku	Počet kusů	Název prvku	Technické parametry
1	1.0, 2.0		CP96SDB32-125+125C-XC10	1	Přímočarý pneumomotor dle normy ISO 15552, průměr pístu 32mm, duální zdvih 125mm, s magnetem a tlumením v koncových polohách.	Ød = 32mm Zdvih A = 125mm Zdvih B = 125mm Připoj. port: G1/8"
2	1.0, 2.0		GKM10-20	2	Vidlicová koncovka dle normy ISO 8140, připojovací závit M10 x 1,25mm	M10 x 1,25mm
3	I0.1, I0.2, I0.3, I0.4		D-M9PL	4	Snímače koncové polohy, elektronický, PNP.	Napětí 24V DC. Délka kabelu 3m
4	1.01, 1.02, 2.01, 2.02		ASP330F-U01-06-X352	4	ASP škrtkový ventil se zámkem a ručním odvzdušněním.	Připojení: G1/8" Připojení ovl. vzduhu: hadička ØD=6mm S = 2,9mm <sup>2</sup> <b>Průtok: 170dm<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup></b>
5	1.03, 2.03		ISE30A-01-B-G	2	Digitální tlakový snímač s kalibračním certifikátem. Dvoubarevný display.	Prac.tlak: -0.1-1MPa Připojení: R1/8" , M5 Kabel 2m s konektorem 2xPNP výstup
6	0.2		VHS30-F02B-S	1	3/2 rozváděč ovládaný mechanicky přepínačem s aretací, normálně uzavřený s funkcí LOTO.	Připojení: G1/4" Zabudovaný tlumič. Cv = 1,7 <b>Průtok: 1670dm<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup></b>
7	0.3		Y300-A	1	Mezikus, spojovací prvek pro VHS a AW.	Připevňovací otvory průměr: 7mm.



# DIPLOMOVÁ PRÁCE

Číslo [Q ni]	Označení ve schématu	Obrázek	Číslo prvku	Počet kusů	Název prvku	Technické parametry
8	0.3		AW30-F02EH-1-B	1	Filtr - regulátor tlaku s automatickým odpouštěním kondenzátu a vestavěným manometrem. S připevňovacím úhelníkem.	Připojení: G1/4" Filtrace: 5um Tlak.rozsah: 0-2MPa <b>Průtok: 850dm3.min-1</b>
9	1.1, 2.1, 1.2, 2.2		SS5Y3-10-01450BU	1	Ventilový blok, který se skládá ze čtyř 5/3 rozváděčů a pod-deskou s ručním odvzdušněním pro dva 5/3 rozváděče.	Připojení: G1/4" Řídící porty: D = 6mm D-SUB25 konektor, kabel 8m. <b>Průtok: 609dm3.min-1</b>
10	L1		TU0805BU-20	1	Polyuretanová hadice, barva modrá, transparentní. Označení ve schématu L1.	ØD = 8mm Ød = 5mm Délka svitku = 20m S (1m) = 12mm <sup>2</sup> <b>Průtok (1m): 654dm3.min-1</b>
11	L2, L3		TU0604BU-20	1	Polyuretanová hadice, barva modrá, transparentní. Označení ve schématu L2 a L3.	ØD = 6mm Ød = 4mm Délka svitku = 20m S (2m) = 4,5mm <sup>2</sup> <b>Průtok (2m): 245dm3.min-1</b>
12	N/A		KQ2H08-02NP	1	Přímá spojka s vnějším šestihranem. Poniklovaná mosaz.	Připoj.závit: R1/4" ØD = 8mm S = 18mm <sup>2</sup> <b>Průtok: 981dm3.min-1</b>
13	N/A		KQ2ZD08-02NS	1	Spojka úhlová, 4 vývody. Poniklovaná mosaz.	Připoj. závit: G1/4" ØD = 8mm S = 16mm <sup>2</sup> <b>Průtok: 817dm3.min-1</b>
14	N/A		KQ2H06-01NP	4	Přímá spojka s vnějším šestihranem. Poniklovaná mosaz.	Připoj.závit: R1/8" ØD = 6mm S = 10,4mm <sup>2</sup> <b>Průtok: 567dm3.min-1</b>
15	N/A		KQ2L06-01NP	2	Úhlová spojka se závitem, otočná o 360°. Poniklovaná mosaz.	Připoj.závit: R1/8" ØD = 6mm S = 9mm <sup>2</sup> <b>Průtok: 491dm3.min-1</b>
16	N/A		KQ2T06-00A	4	T-spojka jednoznačná.	ØD = 6mm S = 10,6mm <sup>2</sup> <b>Průtok: 578dm3.min-1</b>

## **5.5 Výpočet a kontrola propustnosti systému**

V této kapitole se budu věnovat výpočtu požadovaného množství vzduchu pro vykonání zdvihu dle zadaných parametrů, dále výpočtu maximální spotřeby vzduchu a kontrole propustnosti systému.

### **5.5.1 Výpočet a kontrola rychlosti pro vykonání zdvihu**

Doplňující data pro implementaci automatizovaného dopravníku za balicí linku:

Takt balicí linky: 1 výrobek za 5s

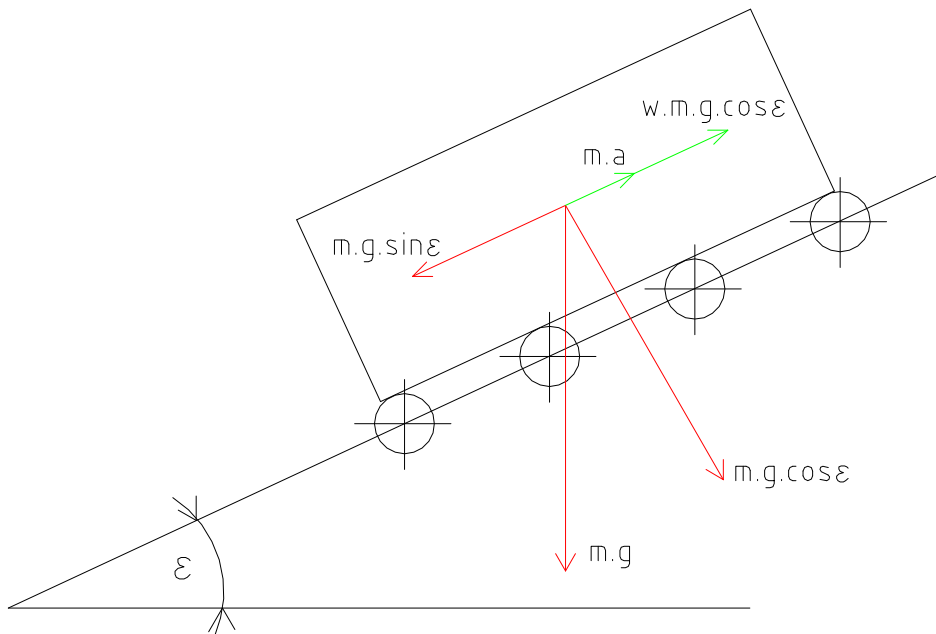
Umístění čtečky kódu před kyvnou částí dopravníku: 3m

Ze zadaných a vypočtených dat vyplývá, že pohyby obou pneumomotorů musí být dokončeny vždy do 5s, což je takt balicí linky. Dále je nutné vzít v úvahu i pozici čtečky čárového kódu, která se nachází 3m před začátkem kyvné části dopravníku. U čtečky čárového kódu budu uvažovat startovní zanedbatelnou, tedy nulovou rychlost výrobku.

**Pro výpočet času pro přesun výrobku od čtečky k začátku kyvné části dopravníku, použiju výpočty uvedené v bakalářské práci, které následně i upravím na požadované hodnoty tak, aby se předmět přesunul za méně než 5s.**

Výpočty v kapitole 5.5.1 jsou provedeny podle literatury [13] a [14].

Výpočet rychlosti pohybu předmětu na válečkové trati:



Obr. 5.10 Působení sil na gravitační trati

Odpor valivého a čepového tření válečků:

$$F_1 = w \cdot m \cdot g \cdot \cos \varepsilon + z \cdot m_v \cdot g \cdot \frac{\mu_\varepsilon \cdot d_\varepsilon}{D_v} \quad [N] \quad (5.5.1-1)$$

kde:

$m$ - hmotnost dopravovaného předmětu (5)	[kg]
$g$ - gravitační zrychlení (9,81)	[ $m \cdot s^{-2}$ ]
$\varepsilon$ - úhel sklonu tratě	[deg]
$\mu_\varepsilon$ - součinitel čepového tření (0,02)	[1]
$m_v$ - hmotnost rotující části válečku (0,037)	[kg]
$z$ - počet válečků pod předmětem (4)	[1]
$w$ - součinitel odporu proti pohybu	[1]
$D_v$ - průměr válečku (0,03)	[m]
$d_\varepsilon$ - průměr osy válečku (0,006)	[m]

Součinitel odporu proti pohybu předmětu:

$$w = \frac{2 \cdot e + d_{\varepsilon} \cdot \mu_{\varepsilon}}{D_v} = \frac{2 \cdot 0,77 \cdot 10^{-2} + 0,6 \cdot 10^{-2} \cdot 0,02}{0,03} = 0,0194 \quad [1] \quad (5.5.1-2)$$

kde:

e - rameno valivého odporu pro plast a ocel (0,0077) [m]

Odpor způsobený ztrátou energie předmětu po najetí na váleček :

$$z \cdot J \cdot \omega^2 = F_2 \cdot l \quad \Rightarrow \quad F_2 = \frac{z \cdot J \cdot \omega^2}{l} \quad \Rightarrow \quad F_2 = \frac{J \cdot \omega^2}{t_v} \quad [N] \quad (5.5.1-3)$$

kde:

J - hmotný moment setrvačnosti rotujících částí válečku [kg · m<sup>2</sup>]

ω - úhlová rychlost válečku [rad · s<sup>-1</sup>]

t<sub>v</sub> - rozteč válečků [m]

Celková síla na překonání odporu proti pohybu F = F<sub>1</sub> + F<sub>2</sub> :

$$F = m \cdot g \cdot \cos \varepsilon \cdot w + z \cdot m_v \cdot g \cdot \frac{\mu_{\varepsilon} \cdot d_{\varepsilon}}{D_v} + \frac{J \cdot \omega^2}{t_v} \quad [N] \quad (5.5.1-4)$$

Hnací silou je složka tíhy předmětu působící ve směru dopravy, tj.  $m \cdot g \cdot \sin \varepsilon$ .

Podělením rovnice (5.5.1-4) tíhou předmětu  $m \cdot g$  dostaneme mezní úhel sklonu trati:

$$\sin \varepsilon = w \cdot \cos \varepsilon + z \cdot \frac{m_v}{m} \cdot \frac{\mu_{\varepsilon} \cdot d_{\varepsilon}}{D_v} + \frac{J \cdot \omega^2}{m \cdot g \cdot t_v} \quad [1] \quad (5.5.1-5)$$

Úhly sklonu gravitačních tratí jsou velmi malé, považujeme  $\cos \varepsilon = (1 \div 0,95)$

$$\text{pak:} \quad \sin \varepsilon \cong w \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_{mez} \cong \arcsin 0,0194 \cong 1,112^\circ \quad (5.5.1-6)$$

**Mezní úhel sklonu trati  $\varepsilon_{mez} = 1,112^\circ$  je úhel potřebný k tomu, aby se předmět působením gravitační síly pohyboval.**

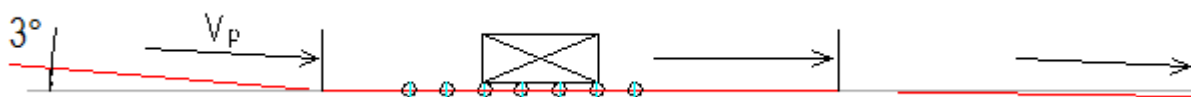
Volím úhel sklonu trati před kyvnou částí dopravníku  $3^\circ$  na délku 3m. Předmět se bude pohybovat od počáteční rychlosti  $v_0$ , která je nulová po konečnou rychlost  $v_p$  podle rovnice:

$$v_p = \sqrt{[2 \cdot g \cdot L_p \cdot (\sin \varepsilon - \cos \varepsilon \cdot w) + v_0^2]} = \sqrt{[2 \cdot 9,81 \cdot 3 \cdot (\sin 3 - \cos 3 \cdot 0,0194)]} = 1,393 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

(5.5.1-7)

kde:

$L_p$  - délka tratě před výkyvnou částí (3) [m]

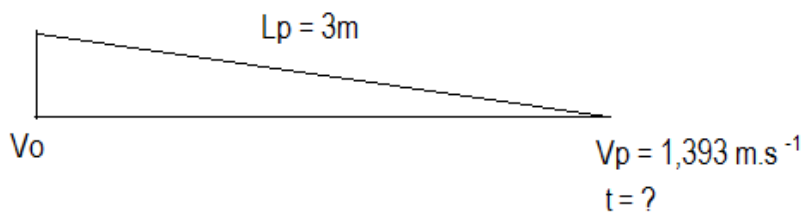


Obr. 5.11 Schéma pohybu předmětu po dopravníku

Předmět najede na horní vodorovnou část rychlostí  $v_p = 1,393 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Výpočet času pro přesun výrobku od čtečky ke kyvné části:

Uvažuji pohyb přímočarý, rovnoměrně zrychlený, kde neznámou je čas  $t$ . Použiju rovnice, pomocí kterých vyjádřím zrychlení  $a$  a čas  $t$ .



Obr. 5.12 Schéma pohybu předmětu od čtečky ke kyvné části

$$L_p = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

[m] (5.5.1-8)

$$v_p = a \cdot t \quad \Rightarrow \quad t = \frac{v_p}{a} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad (5.5.1-9)$$

kde:

$a$  - zrychlení předmětu na dopravníku  $[m \cdot s^{-2}]$

$t$  - čas potřebný k přesunu předmětu od čtečky ke kyvné části  $[s]$

$$a = \frac{\frac{1}{2} \cdot v_p^2}{L_p} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 1,393^2}{3} = 0,323 m \cdot s^{-2}$$

$$t = \frac{v_p}{a} = \frac{1,393}{0,323} = 4,31 s$$

Výpočet času pro přesun obou pneumomotorů:

Čas přesunu obou pneumomotorů musí být uskutečněn do 4,31s. Zvolená rychlost vysunutí pístnice je  $100 \text{ mm} \cdot s^{-1}$ . Zdvih je 125mm. Pro výpočet času  $t_p$  uvažuji pohyb rovnoměrný přímočarý.

$$t_p = \frac{s}{v} \quad [s] \quad (5.5.1-10)$$

kde:

$s$  - dráha zdvihu pneumomotoru  $[m]$

$v$  - rychlost vysouvání pístnice  $[m \cdot s^{-1}]$

$$t_p = \frac{0,125}{0,1} = 1,25 s$$

Čas potřebný pro vysunutí jedné pístnice po délce 125mm je 1,25s. **Kyvná část dopravníku se dokáže dostatečně rychle přesouvat mezi jednotlivými polohami.**

### 5.5.2 Výpočet spotřeby vzduchu

Mechanismus bude vzhledem k taktu balicí linky pracovat s pravidelným cyklem a potřebnou rychlostí zdvihu.

Počet jednotlivých zdvihů zvolím na základě průměru rozložení výrobků na tři sekce dopravníku. Za minutu balicí linka zhotoví při taktu 1 výrobek za 5s dohromady 12 výrobků. Ze statistických dat ze sledovaného období vyplývá, že počet zdvihů jednoho pneumomotoru je  $n_{zd} = 8 \text{ min}^{-1}$  při rychlosti pohybu pístu  $v = 100 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Průměrná spotřeba vzduchu pro takt linky:

$$Q_{NP} = \frac{n_v \cdot D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot H \cdot (p_1 + p_0) \cdot n_{zd}}{10^5} \quad [\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}] \quad (5.5.2-1)$$

kde:

$n_v$	- počet válců (2)	[1]
$D$	- zvolený průměr pneumatického válce (32)	[mm]
$H$	- zdvih pístu (125)	[mm]
$p_1$	- tlak vzduchu ve válci (0,5)	[MPa]
$p_0$	- atmosférický tlak (0,1)	[MPa]
$n_{zd}$	- počet jednotlivých zdvihů za minutu (8)	[min <sup>-1</sup> ]

$$Q_{NP} = \frac{2 \cdot 32^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 125 \cdot (0,5 + 0,1) \cdot 8}{10^5} = 9,65 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Výpočet je třeba pro určení velikosti kompresoru a přívodního potrubí. Používá se také pro výpočet nákladů na energii. [11]

Maximální spotřeba vzduchu při neustálém pohybu obou pneumomotorů:

$$Q_{N \max} = \frac{n_v \cdot D^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot v \cdot (p_1 + p_0) \cdot 60}{10^5} \quad [dm^3 \cdot min^{-1}] \quad (5.5.2-2)$$

kde:

$v$  - rychlost vysouvání pístnice (100)  $[mm \cdot s^{-1}]$   
 60 - převod na minutu  $[1]$

$$Q_{N \max} = \frac{2 \cdot 32^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 100 \cdot (0,5 + 0,1) \cdot 60}{10^5} = 57,91 dm^3 \cdot min^{-1}$$

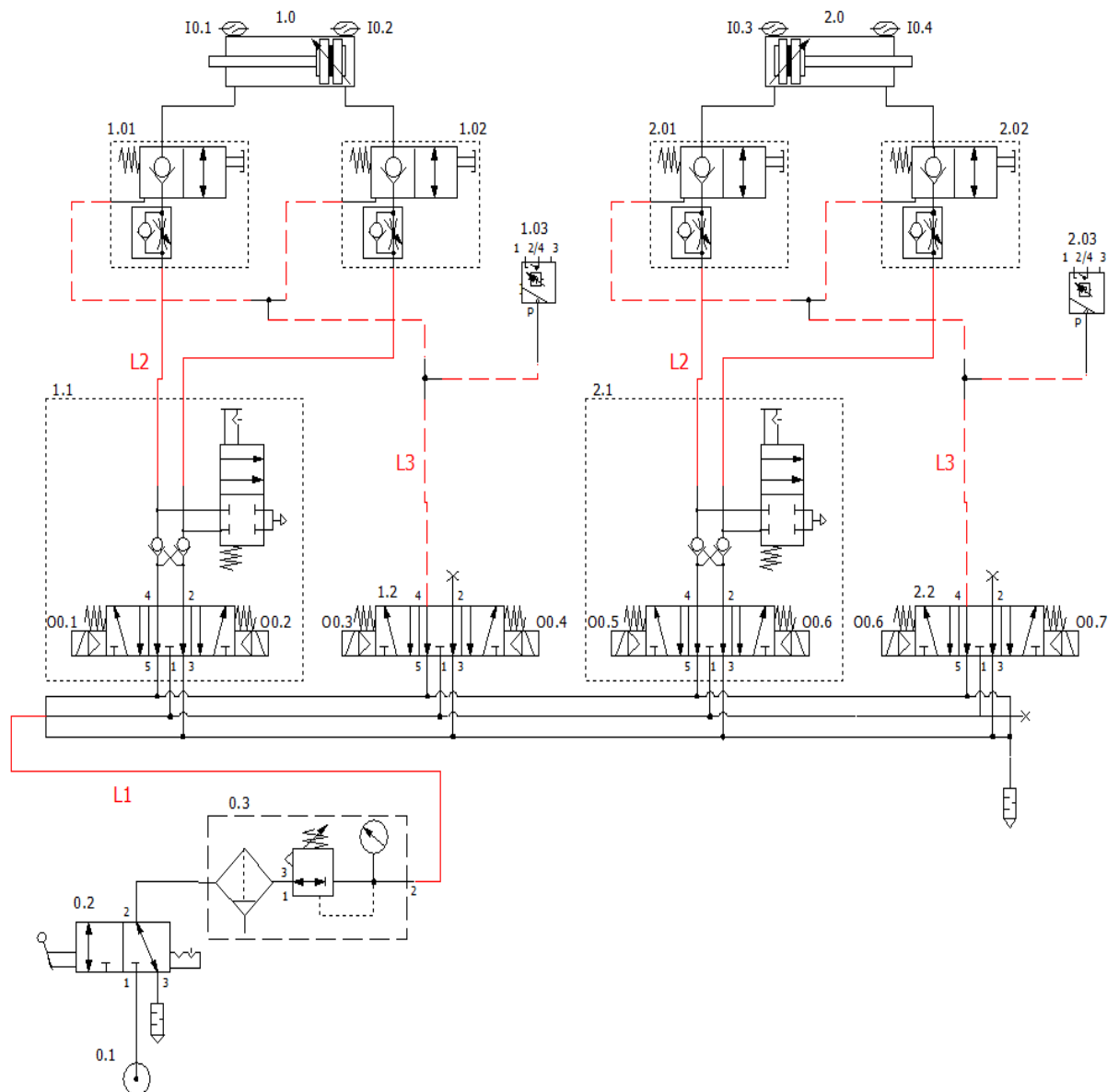
Tento výpočet je třeba pro kontrolu velikosti zvolených ventilů, průřezu hadic, šroubení, nástrčných spojek a jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu pro případ, že by se takt linky v budoucnu zrychlil a pneumomotory by se např. zasouvali a vysouvali nepřetržitě. [11]

### 5.5.3 Kontrola propustnosti systému

Účelem výpočtu je zjištění průtokové propustnosti mezi zdrojem tlakového vzduchu 0.1 a spotřebiči, tedy válce 1.0 a 2.0.

Délku každé z hadic L2 mezi pneumomotory 1.0 a 2.0 a rozváděcí ventilovou pod-deskou volím v 2m. Délku hadice L1 mezi rozváděcí ventilovou pod-deskou a filtrační jednotkou 0.3 volím 1m. Délkou hadic L3 pro řídicí signály od rozváděcí pod-desky ke snímačům tlaku a ASP ventilům se nebudu ve výpočtu zabývat.





Obr. 5.13 Označení hadic v pneumatickém obvodu

Budu vycházet z hodnot uvedených v on-line katalogu SMC [12].

Hodnoty byly u prvků dány:

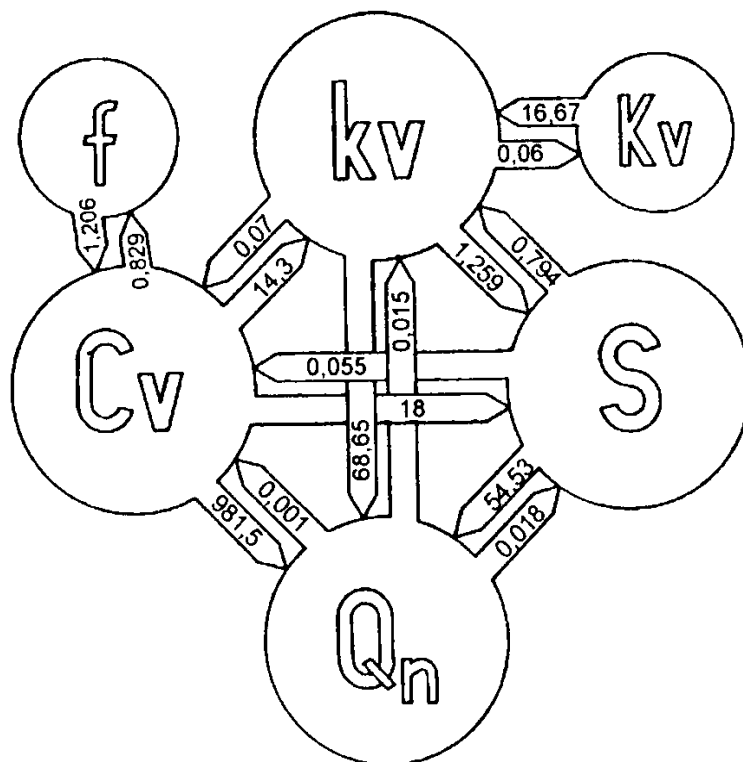
$Q_n$  – normální průtok podle normy ISO 6358, který se udává v  $dm^3 \cdot min^{-1}$ . Tím je odpovídající objem vzduchu s atmosférickým tlakem při teplotě 20°C a relativní vlhkosti 65%.

U některých prvků byly hodnoty dány i různými průtokovými součiniteli:

$S$  – ekvivalentní průřez udávaný v  $\text{mm}^2$ . Je to měřením zjištěný údaj vztahující se k ventilu nebo soustavě prvků, který odpovídá průřezu clony při stejném průtoku.

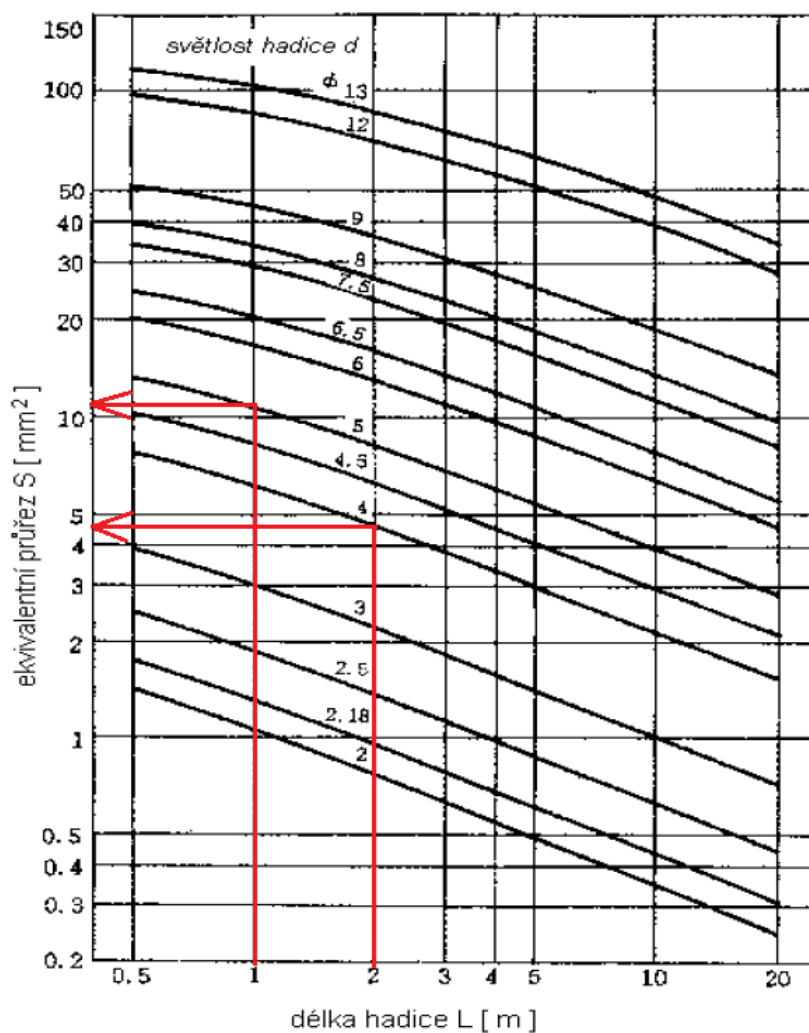
$C_v$  – je vztažen na anglosaské jednotky. Jeho hodnota je 1 při průtoku  $1 \text{ gal} \cdot \text{min}^{-1}$ , při tlakovém spádu 1 psi (0,007MPa) a teplotě  $60^\circ\text{F}$  ( $15,6^\circ\text{C}$ ). [11]

U prvků, kde bylo v tabulkách a diagramech rozmezí hodnot průtoku, jsem zvolil nejvyšší hodnotu. Tam, kde byly uvedeny průtokové součinitele, jsem přepočítal hodnoty dle obr. 5.14, na hodnoty normálního průtoku  $Q_n$ .



Obr. 5.14 Násobné koeficienty pro jednotky průtoku [11]

U hadic L1 délky 1m a L2 délky 2m, jsem určil ekvivalentní průřez dle grafu na obr. 5.15



Obr. 5.15 Graf pro určení ekvivalentního průřezu

Na základě vypočtené hodnoty  $Q_{N\max}$  zkontroluji vybrané pneumatické prvky z pohledu jejich průtokové propustnosti podle vzorce (5.5.3-1). Všechny potřebné průtoky prvků, které použiju pro výpočet, jsou uvedeny v Tab. 5.1.

Výpočet ekvivalentního průtoku:

$$Q_{Nekv} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Q_{ni}^2}}} \quad [dm^3 \cdot min^{-1}] \quad (5.5.3-1)$$

kde:

$Q_{ni}^2$  - normální průtok prvku (pro každý prvek uveden v Tab. 5.1)  $[dm^3 \cdot min^{-1}]$

$ni$  - číslo prvku v Tab. 5.1 [1]

Výpočet ekvivalentního průtoku rozdělím na dvě části:

1. Ekvivalentní průtok od zdroje tlakového vzduchu 0.1 po ventilový blok 1.1:

$$Q_{N_{ekv1}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Q_{12}^2} + \frac{1}{Q_6^2} + \frac{1}{Q_8^2} + \frac{1}{Q_{13}^2} + \frac{1}{L_1^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{981^2} + \frac{1}{1670^2} + \frac{1}{850^2} + \frac{1}{817^2} + \frac{1}{654^2}}} = 388,72 \, dm^3 \cdot min^{-1}$$

2. Ekvivalentní průtok od ventilového bloku 1.1 po pneumatický válec 1.0:

$$Q_{N_{ekv2}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Q_9^2} + \frac{1}{L_2^2} + \frac{1}{Q_{14}^2} + \frac{1}{Q_4^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{609^2} + \frac{1}{245^2} + \frac{1}{567^2} + \frac{1}{170^2}}} = 132,37 \, dm^3 \cdot min^{-1}$$

Celkový ekvivalentní průtok:

$$Q_{N_{ekv3}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Q_{N_{ekv1}}^2} + \frac{1}{Q_{N_{ekv2}}^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{389^2} + \frac{1}{133^2}}} = 125,84 \, dm^3 \cdot min^{-1}$$

Maximální průtok  $Q_{N_{max}}$  vypočtený ze vzorce (5.5.2-2), počítá s vysunutím obou pneumomotorů zároveň. Celkový ekvivalentní průtok počítám pro jednu větev, proto  $Q_{N_{max}}$  podělím dvěma.

$$Q_{N_{ekv3}} = 125,84 \, dm^3 \cdot min^{-1} \quad \Rightarrow \quad Q_{N_{ekv3}} \geq \frac{Q_{N_{max}}}{2} = \frac{57,91}{2} \quad \Rightarrow \quad 125,84 \geq 28,95$$

V této kapitole jsem se zabýval kontrolou prvků pneumatického obvodu a to z hlediska velikosti jejich průtoků. Jednotlivé hodnoty průtoků prvků jsem dosadil do vzorců pro výpočet ekvivalentního průtoku a výsledek porovnal s vypočteným maximálním potřebným průtokem. **Propustnost systému vyhovuje podmínce.** [2]

## 5.6 Ověření bezpečnostních parametrů zvolených pneumatických prvků nástrojem SISTEMA

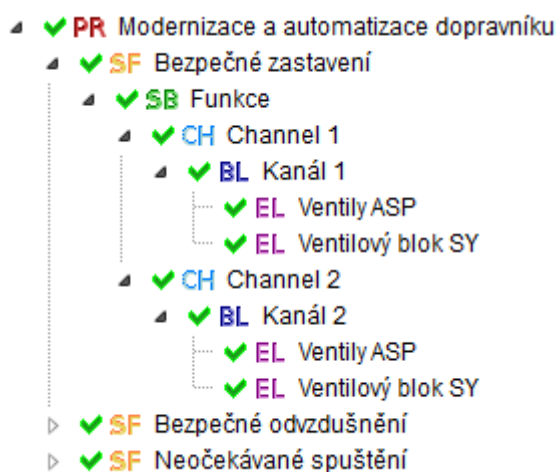
SISTEMA je softwarový nástroj pro implementaci normy EN ISO 13849-1. Zkratkou znamená *Safety Integrity Software Tool for the Evaluation of Machine Applications* (softwarový nástroj bezpečnostní integrity pro vyhodnocování strojních aplikací). Tento softwarový nástroj pomáhá s dokumentačními a výpočetními úkoly. [5]

SISTEMA provede v souladu s normou EN ISO 13849-1 automatický výpočet dosažené úrovně vlastností (Performance level) bezpečnostního systému. Uživatelé v rámci tohoto procesu obdrží kromě výsledků také projektovou složku, která je přílohou této diplomové práce. Příloha: C. Výsledky z ověření bezpečnosti softwarem SISTEMA.pdf.

### 5.6.1 Postup při zadávání informací do softwaru SISTEMA

#### 5.6.1.1 Tvorba a struktura projektu

- vytvořil jsem nový projekt s názvem: Modernizace a automatizace dopravníku
- vytvořil jsem bezpečnostní funkci: Bezpečné zastavení
- pro oba kanály jsem do SYSTEMY importoval knihovny všech použitých prvků
- pro rozváděče SY jsem použil jako diagnostické krytí senzory D-M9PL
- pro ASP ventily jsem použil jako diagnostické krytí senzory tlaku ISE30A



Obr. 5.16 Struktura funkce: Bezpečné zastavení

### 5.6.1.2 Nastavení parametrů

- ve funkci Bezpečné zastavení jsem nastavil úroveň vlastností PL d

☒ Determine PLR value from risk graph  
☐ Enter PLR value directly

**Severity of injury (S)**

S1 Slight (normally reversible injury)

☒ S2 Serious (normally irreversible injury or death)

**Frequency and/or exposure times to hazard (F)**

☒ F1 Seldom to less often and/or exposure time is short

F2 Frequent to continuous and/or exposure time is long

**Possibility of avoiding hazard or limiting harm (P)**

P1 Possible under specific conditions

☒ P2 Scarcely possible

Obr. 5.17 Nastavení úrovně vlastností PL d

- ve funkci subsystému jsem nastavil kategorii 3 a zatrhнул požadavky, že výrobce komponent dodal dokumentaci potvrzující, že všechny komponenty splňují požadované bezpečnostní principy (Basic safety, well-tried, single fault tolerance).

Category of subsystem

**3** Requirements of B and the use of well-tried safety principles shall apply. Safety-related parts shall be designed, so that 1. a single fault in any of these parts does not lead to a loss of the safety function, and 2. whenever reasonably practicable, the single fault is detected.

Requirements for the category

☒ Basic safety principles are being used.

☒ Well-tried safety principles are being used.

☒ A single fault tolerance is given.









☒ MTTFd is [Low or Medium or High].

☒ DCavg is [Low or Medium].

☒ The achieved score of the CCF-rating is at least [65].

Obr. 5.18 Nastavení kategorie 3 a její požadavky

- ve funkci subsystému jsem dále nastavil parametry CCF, neboli opatření proti selhání se společnou příčinou. Selhání se společnou příčinou je myšleno tak, že selhání jedné komponenty, může způsobit selhání dalších komponent, nebo že dojde k selhání obou kanálů ve stejný okamžik. Jako opatření vedoucí ke snížení CCF je např. použití různých komponentů, nebo oddělení komunikačních signálů. V návrhu subsystému musí být implementován dostatečný počet těchto opatření, a podmínkou je, aby byl součet bodů plynoucích z opatření více jak 65. [5]

No.	Measure against CCF	
<b>MEASURES FORM ISO 13849-1:2006, TABLE F.1</b>		
<b>Separation / Segregation</b>		
 <input checked="" type="checkbox"/>	1 Physical separation between signal paths: separation in wiring / piping, sufficient clearances and creep age distances on printed-circuit boards.	15
<b>Diversity</b>		
 <input checked="" type="checkbox"/>	2 Different technologies / design or physical principles are used, for example: first channel programmable electronic and second channel hardwired, kind of initiation, pressure and temperature. Measuring of distance and pressure, digital and analog. Components of different manufactures	20
<b>Design / application / experience</b>		
 <input checked="" type="checkbox"/>	3.1 Protection against over-voltage, over-pressure, over-current, etc.	15
 <input checked="" type="checkbox"/>	3.2 Components used are well-tried	5
<b>Assessment / analysis</b>		
 <input type="checkbox"/>	4 Are the results of a failure mode and effect analysis taken into account to avoid common-cause-failures in design.	5
<b>Competence / training</b>		
 <input type="checkbox"/>	5 Have designers / maintainers been trained to understand the causes and consequences of common cause failures?	5
<b>Environmental</b>		
 <input checked="" type="checkbox"/>	6.1 Prevention of contamination and electromagnetic compatibility (EMC) against CCF in accordance with appropriate standards. Fluidic systems: filtration of the pressure medium, prevention of dirt intake, drainage of compressed air, e.g. in compliance with the component manufacturers requirements concerning purity of the pressure medium. Electric systems: Has the system been checked for electromagnetic immunity, e.g. as specified in relevant standards against CCF? For combined fluidic and electric systems, both aspects should be considered.	25
 <input checked="" type="checkbox"/>	6.2 Other influences. Have the requirements for immunity to all relevant environmental influences such as temperature, shock, vibration, humidity (e.g. as specified in relevant standards) been considered?	10

Obr. 5.19 Nastavení parametrů CCF – v mém případě 90 bodů

- ve funkcích jednotlivých prvků jsem nastavil jejich plánovaný počet sepnutí za rok. Počet sepnutí jednotlivých prvků je dán plánem výroby. Je dán jednosměnný provoz při pracovní délce dne 8h a pracovním kalendářem 280 dní za rok.

Tab. 5.2 Výpočet počtu sepnutí prvků za rok

	Počet sepnutí prvku za minutu	Počet sepnutí prvku za hodinu	Počet pracovních hodin za směnu	Počet směn za den	Počet pracovních dní za rok	Celkový počet sepnutí prvku za rok
<b>SY rozváděč</b>	16	960	8	1	280	<b>2 150 400</b>
<b>ASP ventil</b>	/	2	8	1	280	<b>4 480</b>

Pro rozváděče SY jsem nastavil počet sepnutí 2 150 400 za rok. U ventilů ASP, kde uvažuji jejich využití pouze v servisním režimu a to maximálně dvakrát do hodiny, jsem nastavil počet sepnutí 4 480 / rok. Na obr. 5.20 je příklad pro zadání hodnot SY rozváděče.

Vysvětlení důležitých zkratk:

*B10d* – počet cyklů do nebezpečného selhání 10% prvků

*MTTFd* – střední doba do nebezpečného selhání, udávána v letech

Hodnota B10d je do programu automaticky stažena z knihovny softwaru SISTEMA a udává ji výrobce pro každý prvek zvlášť. Pro zvolený rozváděč SY je hodnota B10d 52 000 000 cyklů.

<input checked="" type="radio"/> Determine MTTFd value from B10d value:					
<input type="radio"/> Enter MTTFd value directly					
B10d:	52 000 000	Cycles	nop:	2 150 400	Cycles/a
T10d:	24,18	a	<button>Calculate nop</button>		
MTTFd:	241,82	a	MTTFd level:	High	

Obr. 5.20 Nastavení počtu sepnutí SY ventilu

- nastavil jsem nepřímé diagnostické krytí rozváděčů SY a ventilů ASP a to pomocí senzorů na válcích D-M9PL a senzorů tlaku ISE30A.

<button>Library</button>	
Type of measure:	Input devices
Description of measure:	Indirect monitoring (e.g. monitoring by pressure switch, electrical position monitoring of actuators)

Obr. 5.21 Nastavení diagnostického krytí



## 5.6.1.3 Zhodnocení výsledků

Tab. 5.3 Okno s výsledky

Context	
<b>Bezpečné zastavení</b>	
PLr	d
PL	e
PFH [1/h]	4,29E-8
<b>Funkce</b>	
PL	e
PFH [1/h]	4,29E-8
Cat.	3
MTTFd [a]	100 (High)
DCavg [%]	90 (Medium)
CCF	90 (fulfilled)

Shrnutí pojmů a výsledků:

PLr – Zvolená úroveň vlastností PL **d**

PL – Pneumatické schéma se zvolenými prvky umožňuje dosáhnout až PL **e**

PFH [1/h] – Hodinová pravděpodobnost, že dojde k selhání systému:  $4,29 \cdot 10^{-8}$

Cat. – Zvolená kategorie **3**

MTTFd – Střední doba do nebezpečného selhání: **100** let (výpočet pro 241 let) - SPLNĚNO

DCavg [%] – Diagnostické krytí: **90%** (dostačující pro kategorii 3) - SPLNĚNO

CCF – Opatření proti poruchám se spol. příčinou: **90** bodů (min. je 65 bodů) - SPLNĚNO

Závěr z ověření bezpečnostních parametrů:

Softwarovým nástrojem SISTEMA jsem ověřil správnost návrhu struktury systému i jednotlivých komponent pro bezpečnostní funkci: Bezpečné zastavení, kde je porovnávána zvolená úroveň vlastností PLr se skutečnou úrovní vlastností PL. Další bezpečnostní funkce: Bezpečné odzdušnění a funkce: Neočekávané spuštění, se nastaví v softwaru podobně. V této práci se nastavením parametrů těchto funkcí nebudu z důvodu rozsahu dále zabývat.

Přílohou této práce je report s nastavením a výsledky, vygenerovaný softwarem SISTEMA. Příloha: C. Výsledky z ověření bezpečnosti softwarem SISTEMA.pdf.

## **6 Bezpečnostní provozní podmínky**

K tomu aby mohlo zařízení spolehlivě a bezpečně pracovat, je nutné dodržet zásady pro správnou montáž, uvedení do provozu a následnou údržbu.

### **6.1 Montáž pneumatického obvodu**

Pneumatické prvky vyžadují pro svůj spolehlivý provoz správnou montáž a přesné dodržování provozních pokynů. Obvod je třeba montovat podle výkresu, který je konstrukčním zpracováním schématu.

#### Pokyny pro uvedení obvodu do provozu:

- seznámení se s průvodní dokumentací jednotlivých prvků (jejich technické podmínky, montážní předpisy, uvedení do chodu a jejich údržba).
- kontrola použitých prvků, odpovídají-li jejich parametry na štítku se skutečnými hodnotami, zabezpečit jejich odkonzervování a prověřit jejich vnitřní a vnější čistotu.
- po celou dobu montáže udržovat čistotu prvků, pracovního prostředí i pomůcek.
- dbát na správnou montáž hadic.
- kontrola utažení všech spojovacích prvků.
- tlumení přímočarých motorů je přednastaveno výrobcem.
- dbát na to, aby prvky byly spolehlivě a pevně uchyceny v předepsaných montážních polohách. [1]

#### Montáž hadic:

Pro správnou funkci hadic v obvodu je třeba dodržet její montáž. Hadici uřízneme kolmo pomocí přípravku na stříhání hadic, zkontrolujeme, zda není poškozen její povrch a do objímky ji zasuneme vždy na doraz. Při opakované demontáži a montáži hadice její konec opět kolmo seřízneme. Při montáži je třeba zamezit jejich případnému tření o okolní části.

## **6.2 Uvedení pneumatického systému do chodu**

Zkontroluj přívod stlačeného vzduchu 0.1. Ruční rozváděč 0.2 přestav do polohy otevřeno. Na modulární jednotce filtr - regulátoru 0.3 nastav a zkontroluj požadovaný tlak 0,5 MPa. Nastav škrticí ventily 1.01, 1.02, 2.01 a 2.02 na potřebnou rychlost vysouvání a zasouvání pístnice. Rychlost vysouvání a zasouvání pístnice nastav a zkontroluj pomocí přípravku pro měření rychlosti vysouvání pístnice IN574-95.



Obr. 6.1 Přípravek pro měření rychlosti vysouvání a zasouvání pístnice

## **6.3 Provoz a údržba pneumatického obvodu**

Údržba obvodu spočívá především v dodržování čistoty a v péči o jednotku pro úpravu stlačeného vzduchu (výměna filtračních vložek, odpouštění kondenzátu). V dnešní době se už pneumatický obvod nepřimazává, pokud nestanoví výrobce stroje jinak. Prvky obsahují mazivo, které je aplikované již při výrobě samotných prvků a má funkčnost mazání po celou dobu životnosti prvků.

### Provoz a údržba jednotky pro úpravu stlačeného vzduchu:

Filtrační vložku je vhodné v zadaném intervalu, zpravidla 1 rok vyměnit za novou. Nádobku pro odvod kondenzátu je třeba v případě zanesení čistit vodou a saponátem, nikoliv alkoholem, nebo technickým benzínem, který by ji poškodil. [1]

Provoz a údržba rozváděčů a ventilů:

Životnost prvků závisí na pracovních podmínkách a především na kvalitě stlačeného vzduchu. Průměrná životnost rozváděčů navržených v pneumatickém obvodu je přibližně 50 000 000 spínacích cyklů a jejich interval výměny je stanoven výrobcem.

Provoz a údržba pneumomotorů:

Pneumatické válce pracují z pravidla do tlaku 0,7 MPa. Testovány jsou sice na 1 MPa, ale jejich životnost lze prodloužit nižším pracovním tlakem – doporučuje se 0,5-0,6 MPa. V případě vzniku netěsností kolem pístnice, nebo uvnitř válce na pístu se doporučuje válec přetěsnit těsnicí sadou, která je dostupná téměř ve všech variantách pneumatických válců dle norem ISO.

Provoz a údržba senzorů:

Tlakové senzory a elektronické snímače polohy na válcích nevyžadují z hlediska funkce žádnou speciální údržbu. Dle potřeby lze odstranit prach a nečistoty vlhčeným hadříkem, nebo lépe stlačeným vzduchem. Během čištění je nutné dbát na to, aby elektronické součástky a konektory nepřišly do přímého kontaktu s vodou, nebo agresivní látkou.

## **7 Ekonomický model modernizace**

Každý projekt musí být před jeho realizací schválen nadřazeným orgánem. Součástí každého projektu jsou výpočty nákladů, které je nutno vynaložit na plánovaný projekt, ať už se jedná o nový stroj, nebo modernizaci stávajícího zařízení.

Pro srovnání uvedu tři ekonomické modely, které poukazují na značné cenové rozdíly, které jsou spojené s automatizací a hlavně bezpečností strojního zařízení.

## 7.1 Původní řešení dopravníku před modernizací

Původní dopravník před modernizací je ovládán pneumaticky pomocí ručně ovládaných rozváděčů. Nejsou zde použité žádné senzory ani řídicí systém.

Tab. 7.1 Ekonomické náklady původní řešení

Položka	Název položky	Poznámka	Cena bez DPH	Měna
1	Pneumatické prvky	Prvky dle seznamu položek	15 930,00	CZK
		<b>CELKEM:</b>	<b>15 930,00</b>	<b>CZK</b>

## 7.2 Automatizované řešení dopravníku

Uvažuji-li automatizaci dopravníku a jeho připojení na PLC balicí linky Simatic S7-400, navýší se cena za modernizaci o 70%. V tomto případě jsou k pneumatické části připočítané i senzory na válce a rozváděče ovládané elektromagneticky. Počítá se zde i s rozšířením PLC pomocí digitálního rozšiřovacího modulu SIMATIC S7-200 EM 221 a úpravou programu balicí linky. [15]

Tab. 7.2 Ekonomické náklady na automatizované řízení

Položka	Název položky	Poznámka	Cena bez DPH	Měna
1	Pneumatické a elektro pneumatické prvky	Prvky dle seznamu položek	26 200,00	CZK
2	Rozšíření PLC modulu na balicí lince	Modul Simatic S7-200 EM 221 - rozšíření o 8 digitálních vstupů a výstupů	6 000,00	CZK
3	Úprava software - automatizace	Úprava programu - 20h	18 000,00	CZK
		<b>CELKEM:</b>	<b>50 200,00</b>	<b>CZK</b>

### 7.3 Automatizované a bezpečné řešení dopravníku

V posledním případě počítám s automatizovaným a bezpečným řešením, které navýší cenu od původního řešení téměř 10 krát.

K základním pneumatickým prvkům přibudou elektropneumatické prvky, senzory, tlakové snímače a bezpečnostní komponenty. Dále se počítá s mechanickými úpravami, oplocením a přístupovými dveřmi s bezpečnostním dvoukanálovým systémem. Rozšíření PLC modulu je nutné zajistit pomocí kombinovaného digitálního rozšiřovacího modulu SIMATIC S7-200 EM 223. Cena se navýší také dodatečnou úpravou programu balicí linky.

[15]

Tab. 7.3 Ekonomické náklady na automatizované a bezpečné řízení

Položka	Název položky	Poznámka	Cena bez DPH	Měna
1	Mechanické úpravy na dopravníku	Aktualizace výkresové dokumentace, úpravy na současných dílech	9 800,00	CZK
2	Pneumatické a elektro pneumatické prvky	Prvky dle seznamu položek	60 230,00	CZK
3	Bezpečnostní oplocení s přístupovými dveřmi	Prvky dle projektové dokumentace	45 000,00	CZK
4	Rozšíření PLC modulu na balicí lince	Modul Simatic S7-200 EM 223 - rozšíření o 16 digitálních vstupů a výstupů	12 000,00	CZK
5	Úprava software - automatizace	Úprava programu - 20h	18 000,00	CZK
6	Úprava software - bezpečnost kat. 3	Úprava programu - 10h	9 000,00	CZK
		<b>CELKEM:</b>	<b>154 030,00</b>	<b>CZK</b>

## **8 Závěr**

Cílem diplomové práce bylo navrhnout modernizaci a automatizaci stávajícího řešení dopravníku ovládaného pomocí pneumatických prvků a poukázat na praktické řešení bezpečnosti strojních zařízení z hlediska platné evropské legislativy.

V úvodu práce jsem popsal současné konstrukční řešení a ovládaní dopravníku. Následně jsem pomocí vhodných metod posoudil a vyhodnotil parametry rizik a navrhnul opatření vedoucí ke snížení rizika. V další části jsem vytvořil koncept bezpečného elektropneumatického obvodu, který jsem následně upravil do finální verze. Provedl jsem kontrolní výpočty pneumatických pohonů, navrhnul pneumatické a elektropneumatické prvky dle funkčního schématu. Prvky jsem následně zkontroloval na průtokovou propustnost.

V poslední části práce jsem ověřil zvolenou úroveň vlastností a bezpečnostní parametry pomocí nástroje SISTEMA. Provedl jsem ekonomický výpočet pro srovnání ceny původního a automatizovaného bezpečného řešení. Součástí příloh je dispoziční výkres původního zařízení, analýza rizik FMEA a shrnutí výsledku z ověření bezpečnosti pomocí softwaru SISTEMA.

Při vypracování této práce byly použity speciální softwarové programy: SMCPneuDraw2.8, program AutoCAD 2016 Mechanical a softwarový nástroj SISTEMA.

## **9 Použitá literatura**

- [1] KOPÁČEK, J; ŽÁČEK, M. *Pneumatická zařízení strojů*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TUO, 2008. 94 s. ISBN 978-80-248-0442-2.
- [2] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy Díl I. Pneumatické prvky a systémy*. 1. vydání. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.
- [3] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy Díl II. Řízení pneumatických systémů*. 2. vydání. Ostrava: VŠB-TUO, 2005. 94 s. ISBN 80-248-0880-3.
- [4] LEINVEBER, J; VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. 6. vydání. Praha: ALBRA, spol. s r.o., 2017. 944 s. ISBN 978-80-7361-111-8.
- [5] ROCKWELL SAFEBOOK 4 – Bezpečnostní řídicí systémy pro strojní zařízení.  
Dostupný z: [http://www.marketing.rockwellautomation.com/safety-solutions/en/ProcessSafety/Safebook/process\\_safebook1\\_form](http://www.marketing.rockwellautomation.com/safety-solutions/en/ProcessSafety/Safebook/process_safebook1_form)
- [6] Označení CE  
Dostupný z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Zna%C4%8Dka\\_CE](https://cs.wikipedia.org/wiki/Zna%C4%8Dka_CE)
- [7] ČSN EN ISO 12100:2011  
Dostupný z: <http://csnonline.unmz.cz/Detailnormy.aspx?k=88295>  
Dostupný z: [http://homen.vsb.cz/~mlc37/BTS/Prednasky/2\\_12100.pdf](http://homen.vsb.cz/~mlc37/BTS/Prednasky/2_12100.pdf)
- [8] FMEA – Analýza rizik  
Dostupný z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/FMEA>
- [9] ČSN EN ISO 13849-1. *Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 84 s.



[10] SMC Zamerané na bezpečnosť. *Zamerané na bezpečnosť Smernica o strojových zariadeniach a ISO 13849 v praxi.*

Dostupné z:

[https://www.smc.eu/portal\\_ssl/WebContent/local/CEE/CEE\\_Products\\_%26\\_Solutions/Safety/SMC\\_Bezpecnost\\_slowakisch.pdf](https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/local/CEE/CEE_Products_%26_Solutions/Safety/SMC_Bezpecnost_slowakisch.pdf)

[11] SMC Training: *Stlačený vzduch a jeho využití. 3. vydání.* Brno: SMC Industrial Automation CZ, s.r.o., 2016. 344 s.

[12] SMC Industrial Automation CZ, s.r.o. *Katalog výrobků [online].* Copyright 2017.

Dostupný z: <https://www.smc.eu>

[13] POLÁK, J; BAILOTTI, K; PAVLISKA, J; HRABOVSKÝ, L. *Dopravní a manipulační zařízení II. 1. vydání.* Ostrava: VŠB-TUO, 2005. 109 s. ISBN 80-248-0493-X.

[14] PODEŠVA, J. *Dynamika v příkladech.* Ostrava: VŠB-TUO, 1999. 196 s.

[15] SIEMENS, s.r.o. *Katalog výrobků [online].* Copyright 1996 – 2017.

Dostupný z: <https://www.siemens.com/cz/cz/home.html>

## **10 Seznam příloh**

- A. Dispoziční výkres původního zařízení.dwg
- B. Analýza rizik FMEA.xlsx
- C. Výsledky z ověření bezpečnosti softwarem SISTEMA.pdf
- D. Obsah souborů na CD-ROM